

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

Научно-теоретический журнал
Издается с марта 1958 г.
Выходит один раз в месяц

№ 4 (652)

Апрель 2013 г.

Главный редактор В.Г. Себешев

Редакционная коллегия: А.А. Афанасьев, В.Л. Баладинский, Т.И. Баранова, В.А. Воробьев, П.А. Дмитриев, В.А. Игнатьев, В.И. Костин (зам. гл. редактора), Г.Б. Лебедев (зам. гл. редактора), Е.М. Лобанов, Л.С. Ляхович, В.И. Морозов, Ю.П. Панибратов, Ю.П. Правдивец, В.Г. Себешев, И.Б. Соколов, Ю.А. Феофанов, Е.М. Чернышов

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Мищенко А.В., Немировский Ю.В. Нелинейное деформирование бетонных элементов при продольно-поперечном изгибе

3

Шляхин Д.А. Вынужденные осесимметричные колебания тонкой круглой пластины ступенчато переменной толщины и жесткости

13

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Комиссаренко Б.С., Абдрахимов В.З., Ковков И.В., Колпаков А.В. Исследование прочностных и деформативных характеристик керамзитовых гранул в бетоне

21

Бочкарёва О.С., Зимакова Г.А. Влияние конфигурации дисперсно-армирующего компонента на механические свойства сталефибробетона

27

Игнатова О.А., Пименов А.Т., Фоменко В.В. Повышение качества систем, образованных основанием и покрывающим слоем

31

Логания В.И., Кисличына С.Н., Макарова Л.В., Садовникова М.А. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов

37

Адрес редакции:
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113.
Тел./факс 266-28-59.
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 24.04.13. Формат 70×108 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 10,68+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 2937.

ООО «Партнеры Сибири»,
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16.

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2013

Юхневский П.И. Влияние химических добавок-пластификаторов на структуру и свойства гидросиликатного геля	43
ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Анферов В.Н., Недавний О.И., Кузнецов С.М., Кандаурова Н.М. Оценка организационно-технологической надежности работы бульдозеров	49
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Дегтярев-мл. В.В., Ершова Е.Е. Численное моделирование скоростной структуры потока в области цилиндра, имитирующего трубопровод, лежащий на дне недеформируемого русла	57
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Крюков И.В. Особенности рециркуляции воздуха в перегрузочном желобе с комбинированной байпасной камерой. Сообщение 1. Основные уравнения	62
Костин В.И. Учет динамики изменения внешних и внутренних тепlopоступлений в помещение при расчете систем климатизации	72
Маявина Е.Г., Фролова А.А. Экономическое сравнение вариантов перехода на свободное охлаждение кондиционируемых помещений	78
Гальперин Е.М. О надежности проектируемой водопроводной сети города	84
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Зырянов Б.С. Пневматический ударный механизм грунтозаборного устройства	92
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Слаков П.Ф. К вопросу о эколого-ориентированной реконструкции городов. Регламенты проектирования и реальность	100
Акимова М.И. Типы площадей городов Западной Сибири	109
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Маркарян В.А. Анализ возможных источников ошибок светодальномера ДВСД-1200	116
НАШИ ЮБИЛЯРЫ	
Енджиевский Л.В.	121

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.012.4

А.В. МИЩЕНКО, Ю.В. НЕМИРОВСКИЙ

НЕЛИНЕЙНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ*

Рассмотрен метод нелинейного расчета стержневых бетонных элементов с использованием жесткостных характеристик высших порядков, основанный на квадратичной модели деформирования с четырьмя константами. Выполнен переход к квазилинейным физическим соотношениям с применением секущих жесткостных характеристик и секущего модуля диаграммы деформирования бетона. Рассмотрены примеры нахождения предельных состояний при продольно-поперечном и чистом изгибе.

Ключевые слова: нелинейность деформирования бетона, разносопротивляемость, жесткостные характеристики высших порядков, секущие жесткостные характеристики.

Как известно, бетон является существенно нелинейно деформируемым разносопротивляющимся растяжению и сжатию материалом. Применение для него линейной модели деформирования пригодно лишь в случае относительно небольших деформаций и не позволяет описывать состояния, близкие к предельным. Теория нелинейно деформируемого бетона, заложенная еще в 30-х годах прошлого столетия, в настоящее время интенсивно развивается и совершенствуется.

Основой выполнения нелинейных расчетов бетонных и железобетонных элементов конструкций является расчетная модель диаграммы деформирования бетона $\sigma - \varepsilon$, которая, с одной стороны, должна достоверно и с необходимой точностью соответствовать опытным данным, а с другой — обеспечивать приемлемую трудоемкость основанных на ней расчетов напряженно-деформированного состояния. Удовлетворительные результаты при учете указанных требований могут быть получены на основе аппроксимаций напряжений целыми рациональными полиномами. Простейшей из них является квадратичная зависимость $\sigma = A_1\varepsilon - A_2\varepsilon^2$, предложенная в 1831 г. Ф.И. Герстнером¹. Обобщая ее на случай растяжения и сжатия, получим четырехконстантную модель

$$\sigma^\pm(\varepsilon) = p_1^\pm\varepsilon + p_2^\pm\varepsilon^2, \quad (1)$$

в которой в области растяжения следует использовать параметры $p_1^+ > 0$, $p_2^+ < 0$, а в области сжатия — $p_1^- > 0$, $p_2^- > 0$. Для расчета элементов конструкций из различных материалов модель (1) применялась² в [1–3].

* Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ, проект № 2.1.2/4822.

¹ Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. М.: Стройиздат, 1978. 208 с.

² Немировский Ю.В. Метод расчета композитных стержневых систем из разномодульных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Материалы V Всерос. науч. конф. (Томск, 3–5 октября 2006 г.). Томск: Изд-во ТГУ, 2006. С. 288–290.

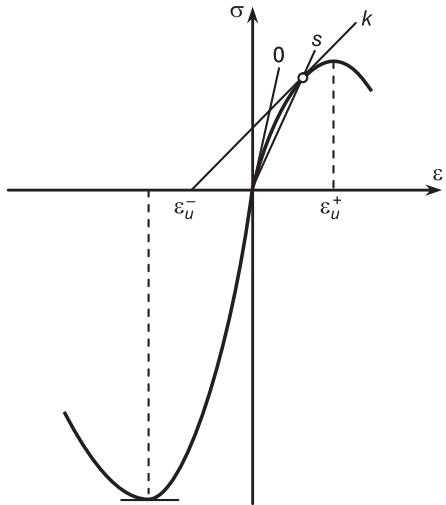


Рис. 1. Расчетная схема диаграммы деформирования

В соответствии с (1) касательные модули расчетной диаграммы $\sigma - \varepsilon$

$$E^\pm(\varepsilon) = d\sigma^\pm/d\varepsilon = p_1^\pm + 2p_2^\pm\varepsilon \quad (2)$$

являются переменными и различны для ветвей растяжения и сжатия. При $\varepsilon > \varepsilon_u^+$, $\varepsilon < -\varepsilon_u^-$ изменяются знаки модулей (2) и деформирование переходит в запредельную стадию по нисходящим ветвям (рис. 1). Секущие модули описываются выражением

$$\bar{E}^\pm(\varepsilon) = \sigma^\pm/\varepsilon = p_1^\pm + p_2^\pm\varepsilon \quad (3)$$

и при $\varepsilon = 0$ совпадают с начальными модулями $E^\pm(0)$. Начальный, секущий и касательный модули соответствуют тангенсам углов наклона линий, отмеченных на рис. 1 для ветви положительных деформаций символами 0 , s , k соответственно.

Подбор параметров p_1^\pm , p_2^\pm выполняется таким образом, чтобы расчетная модель (1) наилучшим образом и в соответствии с целями расчета соответствовала данным эксперимента. Поскольку опубликованные данные конкретных испытаний обычно являются недостаточно полными, то при определении параметров могут быть применены следующие варианты записи необходимых условий.

Так, если выявлены начальные модули упругости E_{b0}^\pm , пределы прочности σ_u^\pm и соответствующие им деформации ε_u^\pm , то, записав с использованием (1), (2) условия

$$\left. \frac{d\sigma^\pm}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=0} = E_{b0}^\pm, \quad \sigma^\pm(\pm\varepsilon_u^\pm) = \pm\sigma_u^\pm, \quad (4)$$

получим $p_1^\pm = E_{b0}^\pm$, $p_2^\pm = \mp(E_{b0}^\pm\varepsilon_u^\pm - \sigma_u^\pm)/(\varepsilon_u^\pm)^2$. Если начальные модули упругости не известны, то, заменив первое условие в (4) на равенство нулю касательных модулей в предельных точках (при растяжении и сжатии), получим

$$\left. \frac{d\sigma^\pm}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=\pm\varepsilon_u^\pm} = 0, \quad \sigma^\pm(\pm\varepsilon_u^\pm) = \pm\sigma_u^\pm, \quad (5)$$

что дает $p_1^\pm = 2\sigma_u^\pm/\varepsilon_u^\pm$, $p_2^\pm = \mp\sigma_u^\pm/(\varepsilon_u^\pm)^2$. Изменение касательного (2) и секущего модулей (3) при таких параметрах проиллюстрировано на рис. 2.

Весьма распространенной является ситуация, когда по результа-

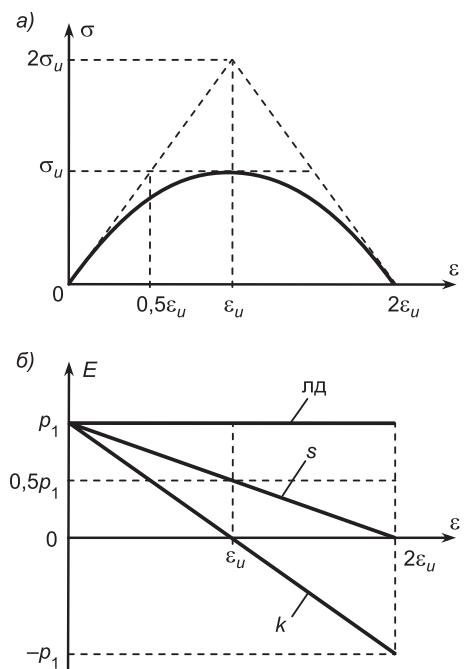


Рис. 2. Форма аппроксимирующей кривой $\sigma - \varepsilon$ (а) и изменение секущего (s) и касательного (k) модулей упругости (б)
 ЛД — линейная деформируемость

там испытаний приводятся начальные модули упругости E_{b0}^\pm и пределы прочности σ_u^\pm без деформаций ε_u^\pm . В этом случае аналогично первому варианту примем $p_1^\pm = E_{b0}^\pm$. Далее, записав аналогично первому условию (5) $E_{b0}^\pm \pm 2p_2^\pm \varepsilon_u^\pm = 0$ и аналогично второму — $\pm E_{b0}^\pm \varepsilon_u^\pm + p_2^\pm (\varepsilon_u^\pm)^2 = \pm \sigma_u^\pm$, после совместного решения имеем $\varepsilon_u^\pm = \pm 2\sigma_u^\pm / E_{b0}^\pm$, $p_2^\pm = \mp E_{b0}^\pm / (4\sigma_u^\pm)$. Выражение для ε_u^\pm свидетельствует о том, что при рассматриваемых в третьем варианте условиях аппроксимации предельная деформация в случае квадратичного деформирования (1) в два раза больше, чем предельная деформация σ_u / E_{b0} при линейном деформировании (см. рис. 2, а).

В четвертом варианте используем условия прохождения аппроксимирующей кривой (1) в области растяжения и сжатия через две опытные точки с напряжениями $\pm\sigma_i^\pm$ при деформациях $\pm\varepsilon_i^\pm$ ($i = 1, 2$)

$$\sigma^\pm(\pm\varepsilon_i^\pm) = \pm\sigma_i^\pm (i = 1, 2), \quad (6)$$

что дает параметры $p_1^\pm = [\sigma_1^\pm(\varepsilon_2^\pm)^2 - \sigma_2^\pm(\varepsilon_1^\pm)^2] / [\varepsilon_1^\pm \varepsilon_2^\pm (\varepsilon_1^\pm - \varepsilon_2^\pm)]$, $p_2^\pm = [\sigma_1^\pm \varepsilon_2^\pm - \sigma_2^\pm \varepsilon_1^\pm] / [\varepsilon_1^\pm \varepsilon_2^\pm (\pm\varepsilon_1^\pm \mp \varepsilon_2^\pm)]$.

1. Рассмотрим стержень, испытывающий продольно-поперечный изгиб в плоскости симметрии yx . Будем считать, что его продольная ось, совмещенная с координатной осью x , имеет произвольную привязку к стержню, не связанную с физическими центрами поперечных сечений. Симметричные относительно оси y поперечные сечения стержня (рис. 3) имеют переменные размеры — ширину $b(x, y)$ и высоту $h(x) = y_2(x) - y_1(x)$ (y_1, y_2 — ординаты нижних и верхних фибр стержня).

Принимая распределение продольных деформаций в виде $\varepsilon(x, y) = \varepsilon_0(x) - \kappa(x)y$ (ε_0 и κ — деформация и кривизна отсчетной оси x стержня), запишем на основе модели (1) выражения продольной силы N и изгибающего момента M в виде:

$$N = \int_{y_1}^{y_0} [p_1^\pm(\varepsilon_0 - \kappa y) + p_2^\pm(\varepsilon_0 - \kappa y)^2] b dy + \\ + \int_{y_0}^{y_2} [p_1^\mp(\varepsilon_0 - \kappa y) + p_2^\mp(\varepsilon_0 - \kappa y)^2] b dy,$$

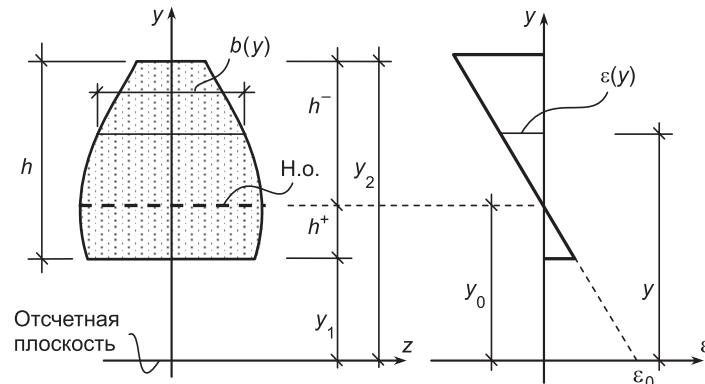


Рис. 3. Поперечное сечение и эпюра деформаций

$$M = - \int_{y_1}^{y_0} [p_1^\pm(\varepsilon_0 - \kappa y) + p_2^\pm(\varepsilon_0 - \kappa y)^2] by dy - \int_{y_0}^{y_2} [p_1^\mp(\varepsilon_0 - \kappa y) + p_2^\mp(\varepsilon_0 - \kappa y)^2] by dy. \quad (7)$$

Здесь y_0 — ордината нейтральной оси (см. рис. 3); при положительной кривизне берутся верхние, а при отрицательной нижние знаки в индексах. После преобразований из (7) имеем нелинейные зависимости

$$\begin{cases} D_{10}\varepsilon_0 - D_{11}\kappa + D_{20}\varepsilon_0^2 - 2D_{21}\varepsilon_0\kappa + D_{22}\kappa^2 = N, \\ -D_{11}\varepsilon_0 + D_{12}\kappa - D_{21}\varepsilon_0^2 + 2D_{22}\varepsilon_0\kappa - D_{23}\kappa^2 = M. \end{cases} \quad (8)$$

Система уравнений (8), являясь частным случаем физических систем для аппроксимаций типа (1) произвольного порядка $\sigma^\pm = \sum_{i=0}^m p_i^\pm \varepsilon^i$ [4], содержит линейный и квадратичный блоки относительно обобщенных деформаций ε_0 , κ , коэффициентами при которых являются переменные жесткостные характеристики (ЖХ) сечения

$$D_{ij}(x, y_0, \kappa) = p_i^\pm \int_{y_1}^{y_0} b(x, y) y^j dy + p_i^\mp \int_{y_0}^{y_2} b(x, y) y^j dy \quad (i=1, 2; j=0, 1, 2). \quad (9)$$

Вычисление ЖХ (9) требует идентификации физических параметров p_i^\pm , зависящих от знаков деформации, что определяется положением нейтральной оси $y_0 = \varepsilon_0 / \kappa$ и знаком кривизны κ (см. рис. 3).

Величины (9), по сравнению с их аналогами в линейной теории, являются ЖХ высших порядков. Индексы i, j соответственно обозначают физический (номер члена ряда (1)) и геометрический (порядок момента инерции в (9)) порядки ЖХ. В частном случае при $p_2^\pm = 0$ из (9) получаются ЖХ сечения из разномодульного материала (первого физического порядка)³:

$$\begin{aligned} D_{10}(x, y_0, \kappa) &= E^+ A^+ + E^- A^-, \quad D_{11}(x, y_0, \kappa) = E^+ S_z^+ + E^- S_z^-, \\ D_{12}(x, y_0, \kappa) &= E^+ I_z^+ + E^- I_z^-, \end{aligned} \quad (10)$$

где $A^\pm(x, y_0)$, $S_z^\pm(x, y_0)$, $I_z^\pm(x, y_0)$ — площади, статические моменты и моменты инерции областей сечения с соответствующими знаками деформации (нулевой, первый и второй геометрические порядки). Если дополнительно положить $E^+ = E^- = E$, то выражения (10) дадут мембранные, смешанную и изгибную жесткости линейной теории:

$$D_A(x) = EA, \quad D_S(x) = ES_z, \quad D_I(x) = EI_z.$$

В ряде случаев при решении практических задач на основе нелинейных зависимостей (1), (8) удобно перейти к квазилинейной форме записи напряжения с секущими модулями (3)

$$\sigma^\pm(\varepsilon) = \bar{E}^\pm(\varepsilon) \cdot \varepsilon \quad (11)$$

³ Мищенко А.В., Немировский Ю.В. Динамика слоистых рам из разносопротивляющихся материалов // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 11. С. 10–19.

и интегральных силовых факторов

$$\begin{cases} \bar{D}_A \varepsilon_0 - \bar{D}_S \kappa = N, \\ -\bar{D}_S \varepsilon_0 + \bar{D}_I \kappa = M. \end{cases} \quad (12)$$

Система уравнений (12) вытекает из условий равновесия для N и M с напряжениями (11) и содержит секущие ЖХ сечения

$$\begin{aligned} [\bar{D}_A, \bar{D}_S, \bar{D}_I](x, y_0, \kappa) = & \int_{y_1}^{y_0} \bar{E}^\pm [1, y, y^2] b(x, y) dy + \\ & + \int_{y_0}^{y_2} \bar{E}^\mp [1, y, y^2] b(x, y) dy. \end{aligned} \quad (13)$$

Подстановка (3) в (13) дает для них выражения:

$$\begin{aligned} \bar{D}_A(x, y_0, \kappa) &= D_{10} + \varepsilon_0 D_{20} - \kappa D_{21}, \\ \bar{D}_S(x, y_0, \kappa) &= D_{11} + \varepsilon_0 D_{21} - \kappa D_{22}, \\ \bar{D}_I(x, y_0, \kappa) &= D_{12} + \varepsilon_0 D_{22} - \kappa D_{23}. \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь ЖХ D_{1j} ($j = 0, \dots, 2$), D_{2j} ($j = 0, \dots, 3$) определяются по выражениям (9).

В случае расчета многоэлементных конструкций на основе квазилинейного представления (12) могут быть сформированы квазилинейные матричные соотношения, содержащие секущие матрицы податливости или жесткости, и построены эффективные алгоритмы итерационного уточнения равновесных состояний конструкции при нелинейном деформировании [2].

2. Для бетонного призматического стержня (рис. 4) выполним исследование предельных по прочности состояний на участке между поперечными нагрузками в зависимости от величин нагрузок F_x , F_y с возможностью смены их знаков.

Изменение ширины трапецидального сечения зададим в виде $b(y) = b_1 + (b_2 - b_1)(y - y_1)/h$, $y_1 = -h/2$. Параметры модели (1) $p_1^+ = 1,6 \cdot 10^4$, $p_2^+ = -5,33 \cdot 10^7$, $p_1^- = 1,25 \cdot 10^4$, $p_2^- = 3,13 \cdot 10^6$ (МПа) найдены с использованием условий (5) при задании $\varepsilon_u^+ = 0,00015$; $\varepsilon_u^- = 0,002$; $\sigma_u^+ = 1,2$ МПа; $\sigma_u^- = 12,5$ МПа. Изгибающий момент и продольная сила на расчетном участке описываются выражениями $M = F_y a$, $N = F_x$.

Жесткостные характеристики (9) запишем в виде суммы

$$D_{ij}(x, y_0, \kappa) = p_i^\pm I_j^{(h,u)} + p_i^\mp I_j^{(v,u)} \quad (i=1, 2, j=0, 1, 2) \quad (15)$$

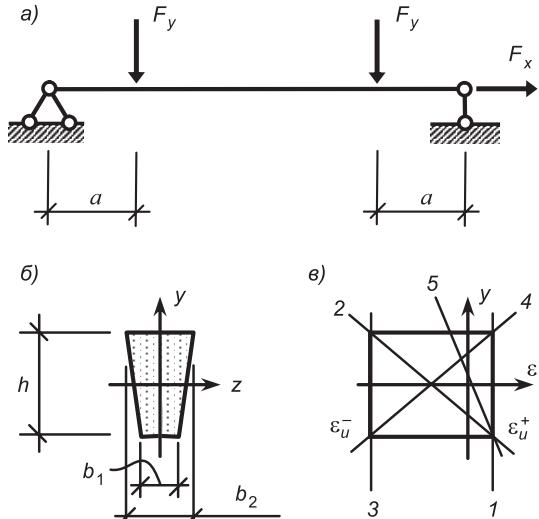


Рис. 4. Схема стержня (а), поперечного сечения (б), предельных распределений деформаций $\varepsilon(y)$ (в)

с моментами инерции j -го порядка нижней (н.ч.) и верхней (в.ч.) частей сечения, определяемых единым выражением

$$I_j^{(q)}(x) = \left(b_1 - \frac{b_2 - b_1}{h} y_1 \right) \frac{y_b^{j+1} - y_a^{j+1}}{j+1} + \frac{b_2 - b_1}{(j+2)h} (y_b^{j+2} - y_a^{j+2}).$$

Для нижней части координаты границ следует принять равными $y_a = y_1$, $y_b = y_0$, а для верхней — $y_a = y_0$, $y_b = y_2$. При положительной кривизне в выражениях (15) берутся верхние, а при отрицательной — нижние знаки в индексах. Если нейтральная ось расположена за пределами сечения, то $y_a = y_1$, $y_b = y_2$.

Критерий допредельного состояния бетонного сечения представим через деформации в виде

$$\varepsilon_{\max}^+ \leq \varepsilon_{\text{adm}}^+, \quad |\varepsilon_{\min}^-| \leq \varepsilon_{\text{adm}}^-, \quad (16)$$

где $\varepsilon_{\text{adm}}^\pm$ — предельно допустимые при растяжении и сжатии деформации, соответствующие расчетным сопротивлениям R_t , R_c или деформациям ε_u^\pm . В предельном состоянии условия (16) для одного или более уровней по поперечной координате y удовлетворяются со знаком равенства. Геометрической интерпретацией этого является внутреннее касание линиями $\varepsilon(y)$ полигона предельных деформаций материала $\pm \varepsilon_u^\pm(y)$ (см. рис. 4, в). В четырех предельных состояниях (линии 1–4) касание происходит в двух точках. Между ними (это пары смежных состояний, имеющих общую точку: 1-2, 2-3, 3-4, 4-1) реализуется серия промежуточных одноточечных предельных состояний (например, линия 5, расположенная между 1 и 2 линиями).

Для множества выявленных таким образом деформированных состояний с найденными значениями ε_0 , κ по уравнениям (8) могут быть вычислены внутренние силовые факторы N , M . Геометрическое множество точек на плоскости N , M образует замкнутую границу области допустимых по критериям (16) состояний бетонного сечения. На рис. 5 такие области построены для безразмерных усилий $n = N/N_0$, $m = M/M_0$ для трех вариантов поперечного сечения стержня: 1) $b_1 = b_2 = 0,1$ м; 2) $b_1 = 0,08$ м, $b_2 = 0,12$ м и 3) $b_1 = 0,12$ м, $b_2 = 0,08$ м. Принято: $h = 0,2$ м, $N_0 = \sigma_u^+ b_0 h$, $M_0 = \sigma_u^+ b_0 h^2 / 6$, $b_0 = (b_1 + b_2) / 2$. Во внутренних точках, не принадлежащих границе, условия (16) выполнены со знаком неравенств

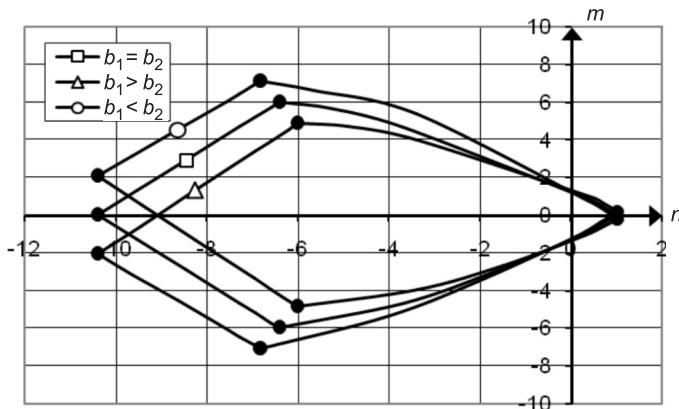


Рис. 5. Границы областей допустимых состояний трех типов поперечных сечений

● выполнение двухточечного критерия

ва. Подстановка $M = F_y a$, $N = F_x$ позволяет получить области допустимых состояний в пространстве нагрузок.

Отметим особенности областей допустимых состояний: а) для бетонных сечений область, соответствующая сжимающей продольной силе ($n < 0$), на порядок больше области при растягивающей силе; б) наличие сжатия увеличивает воспринимаемый сечением изгибающий момент, а значит и нагрузку F_y ; в) рассмотренные бетонные стержни при одинаковых площадях сечений (а значит — расходе материала) имеют различные показатели несущей способности по моменту, что позволяет выбирать рациональные формы сжато-изогнутых стержней; г) в сжато-изогнутых стержнях с несимметричным сечением увеличение массивности сжатой зоны сечений повышает величину предельного изгибающего момента. А именно из схемы на рис. 5 следует, что при положительном моменте, вызывающем сжатие сверху, наибольший момент соответствует стержню с большей шириной верхней (сжатой) части ($b_2 > b_1$), а при отрицательном моменте, сжимающем нижнюю область, — с большей шириной нижней, также сжатой части ($b_1 > b_2$).

3. Для балки, показанной на рис. 4, *a*, в случае $F_x = 0$ исследуем равновесные состояния поперечных сечений при нелинейном чистом изгибе на участке между силами F_y . При исходных данных, аналогичных предыдущему примеру, примем прямоугольное сечение ($b_1 = b_2 = 0,1$ м).

Используем систему уравнений (8), подставив в них $\dot{N} = 0$ и величины $\varepsilon_0 = (\varepsilon_1 y_2 - \varepsilon_2 y_1) / h$, $\kappa = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / h$, выраженные через фибрьные деформации ε_1 , ε_2 . Это позволяет численно определить из двух уравнений значения $\varepsilon_2 = f_e(\varepsilon_1)$ и $M = f_M(\varepsilon_1)$ при заданных значениях деформации нижних фибр ε_1 . По результатам вычислений на рис. 6 приведены графики зависимости ряда величин от безразмерной кривизны оси $r = 500\kappa/h$: безразмерного изгибающего момента $m(r) = M/M_0$ и фибрьных деформаций $e_1(r)$ и $e_2(r)$ ($e_j = 1000\varepsilon_j$).

Графики, показанные сплошными линиями, построены при формальном игнорировании процесса разрушения по критериям (16). В этом случае зависимости фибрьных деформаций $e_1(r)$, $e_2(r)$ монотонны, а график изгибающего момента $m(r)$ в силу наличия нисходящих ветвей на диаграмме деформирования (см. рис. 1) имеет экстремум.

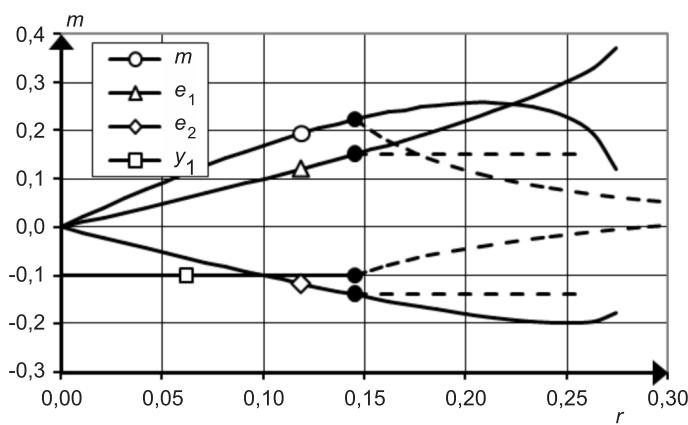


Рис. 6. Кривые равновесных состояний при чистом изгибе $e_1 = 1000\varepsilon_1$, $e_2 = 1000\varepsilon_2$, $r = 500\kappa/h$. ε_1 , ε_2 — деформации нижних и верхних фибр, κ — кривизна оси балки, y_1 — координата точки с максимальными деформациями при растяжении. ● — достижение предельной деформации в растянутой зоне, --- — состояние с исключенной из сечения зоной трещин

Использование ограничений (16) приводит к тому, что по мере роста фибрьных деформаций e_1, e_2 в растянутой зоне возникает предельное состояние $\varepsilon_1 = \varepsilon_u^+$ (эпюра деформаций 5 на рис. 4, в), отмеченное темной точкой на всех линиях рис. 6. Дальнейшее деформирование приводит к разрушению бетона в растянутой зоне, начиная с нижних фибр, и реализация состояний, отмеченных сплошными линиями, становится физически невозможной. Если по мере развития в глубину трещин нормального отрыва не учитывать разрушенный материал, тем самым уменьшая область интегрирования в (7), (9), то кривые расчетных величин после предельной точки $\varepsilon_1 = \varepsilon_u^+$, качественно изменяясь, принимают вид пунктирных линий. Кривая $m(r)$ сразу становится нисходящей, а значения деформаций $e_1(r), e_2(r)$ (теперь e_1 — это деформация на вершине трещины) при продолжающемся росте кривизны стабилизируются на уровнях $\varepsilon_1 = \varepsilon_u^+ = 0,00015, \varepsilon_2 = -0,00014$. Последнее объясняется уменьшением высоты неразрушенной части сечения $h_t = y_2 - y_1(\kappa)$ ($y_1(\kappa) = y_1 + \delta(\kappa)$, δ — глубина трещины в растянутой зоне). Реализации предельных состояний в сжатой зоне не происходит.

4. Деформированное состояние бетонных стержней. При нелинейном деформировании численные расчеты перемещений организуем по итерационной схеме на основе квазилинейной системы уравнений (12).

На k -м ее шаге ($k = 1, 2, \dots$) с использованием $\varepsilon_0^{[k-1]}, \kappa^{[k-1]}, y_0^{[k-1]} = \varepsilon_0^{[k-1]} / \kappa^{[k-1]}$ вначале вычисляются жесткостные характеристики (9), (14)

$$\begin{aligned} D_{1j}^{[k]} & (j=0, 1, 2), \quad D_{2j}^{[k]} (j=0, 1, 2, 3), \\ \bar{D}_A^{[k]} & = D_{10}^{[k]} + \varepsilon_0^{[k-1]} D_{20}^{[k]} - \kappa^{[k-1]} D_{21}^{[k]}, \\ \bar{D}_S^{[k]} & = D_{11}^{[k]} + \varepsilon_0^{[k-1]} D_{21}^{[k]} - \kappa^{[k-1]} D_{22}^{[k]}, \\ \bar{D}_I^{[k]} & = D_{12}^{[k]} + \varepsilon_0^{[k-1]} D_{22}^{[k]} - \kappa^{[k-1]} D_{23}^{[k]}. \end{aligned} \quad (17)$$

Затем по уравнениям (12) — кривизна и осевая деформация

$$\begin{aligned} \varepsilon_0^{[k]} & = \frac{N\bar{D}_I^{[k]} + M\bar{D}_S^{[k]}}{\bar{D}^{[k]}}, \quad \kappa^{[k]} = \frac{N\bar{D}_S^{[k]} + M\bar{D}_A^{[k]}}{\bar{D}^{[k]}}, \\ \bar{D}^{[k]} & = \bar{D}_A^{[k]} \bar{D}_I^{[k]} - (\bar{D}_S^{[k]})^2. \end{aligned} \quad (18)$$

Искомые прогибы и продольные перемещения после решения соответствующих краевых задач находятся по выражениям

$$v^{[k]}(x) = v_0^{[k]} + \theta_0^{[k]} x + \int_{x_0}^x dx \int_{x_0}^x \kappa^{[k]} dx, \quad u^{[k]}(x) = u_0^{[k]} + \int_{x_0}^x \varepsilon_0^{[k]} dx. \quad (19)$$

Вместо дискретных функций (19) методом Максвелла–Мора могут быть найдены перемещения любого заданного сечения $v_i^{[k]}, u_i^{[k]}$. В частности для прогиба получим

$$v_i^{[k]} = \sum_{lj} \int_{l_j} M_i \kappa^{[k]} dx + \sum_{lj} \int_{l_j} N_i \varepsilon_0^{[k]} dx. \quad (20)$$

На начальном шаге следует принять $\varepsilon_0^{[0]} = 0, \kappa^{[0]} = 0, E^+ = E^- = E_0$.

Взяв для примера бетонную балку прямоугольного сечения ($b = 100$ мм, $h = 200$ мм), рассмотренную выше в п. 2, загрузим ее силой $F_y = 2,4$ кН в середине пролета. При такой нагрузке максимальные напряжения в растянутой зоне достигают предельных значений $\sigma_u^+ = 1,2$ МПа. В таблице в графах «точное решение» приведены результаты серии уточняющих расчетов максимального прогиба, найденного с использованием последовательного при-

Максимальные прогибы бетонной балки

k	Точное решение		Приближенное решение	
	прогиб, мм	погрешность, %	прогиб, мм	погрешность, %
1	0,422	-18,25	0,421	-18,49
2	0,485	-6,03	0,491	-4,97
3	0,504	-2,35	0,506	-1,98
4	0,512	-0,97	0,510	-1,24
5	0,515	-0,39	0,511	-1,04
6	0,516	-0,13	0,511	-0,98

менения формул (17), (18), (20) при $k = 1, \dots, 6$. Алгоритм решения за три шага дает прогиб удовлетворительной точности с погрешностью 2,35 %.

В случае рассмотрения элементов балочного типа на основе специального выбора отсчетной плоскости $y = 0$ может быть предложен приближенный метод оценки прогибов. С этой целью расположив ее в непосредственной близости к нейтральному слою, получим оценки $|\varepsilon_0| \ll 1$ и $\bar{D}_S^2 \ll \bar{D}_A \bar{D}_I$. Тогда, пренебрегая малыми величинами, содержащими в (14) ε_0 , а в (18) — \bar{D}_S и учитывая $N = 0$, имеем упрощенные приближенные выражения жесткостных характеристик квазилинейных уравнений (12), кривизны и деформации:

$$\begin{aligned} \bar{D}_A^{[k]} &= D_{10}^{[k]} - \kappa^{[k-1]} D_{21}^{[k]}, \quad \bar{D}_S^{[k]} = D_{11}^{[k]} - \kappa^{[k-1]} D_{22}^{[k]}, \quad \bar{D}_I^{[k]} = D_{12}^{[k]} - \kappa^{[k-1]} D_{23}^{[k]}, \\ \kappa^{[k]} &= \frac{M}{D_{12}^{[k]} - \kappa^{[k-1]} D_{23}^{[k]}}, \quad \varepsilon_0^{[k]} = \frac{M \bar{D}_S^{[k]}}{\bar{D}_A^{[k]} \bar{D}_I^{[k]}}. \end{aligned} \quad (21)$$

Значения максимальных прогибов в балке, найденные с использованием кривизны (21), приведены в таблице в графах «приближенное решение». Полученные результаты близки к результатам «точного решения» с той лишь разницей, что в «приближенном решении» присутствует малая неустранимая погрешность (около 1 %), обусловленная использованием приближенного выражения кривизны (21).

Выводы. Изложенный метод расчета бетонных элементов на основе квадратичных зависимостей для напряжения (1) и жесткостных характеристик высших порядков характеризуется следующими преимуществами: а) позволяет выполнять физически нелинейные расчеты бетонных конструкций со стержневыми элементами произвольного сечения; б) подбор четырех параметров физической модели материала (1) на основе опытных данных способен удовлетворительно описать нелинейное деформирование и предельные состояния элементов конструкций; в) использование квазилинейных уравнений и секущих жесткостных характеристик дает возможность применить расчетный аппарат линейной теории и существенно упростить реализацию нелинейного метода; г) принятие произвольной отсчетной координатной плоскости $y = 0$, несмотря на некоторое усложнение физических зависимостей, в итоге приводит к существенному упрощению расчетов и расширяет класс решаемых задач (стержни с несимметрично переменной высотой сечения, стержни со смещенными центрами поперечных сечений [5]).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Немировский, Ю.В. Расчет и рациональное проектирование деревянных стержневых элементов [Текст] / Ю.В. Немировский // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций

- в строительстве и на транспорте: Сб. науч. тр. III междунар. науч.-техн. конф. — Са-
мары : СамГАСУ, 2005. — С. 247–251.
2. Мищенко, А.В. Расчет и проектирование деревянных стержневых систем с уч-
том физической нелинейности [Текст] / А.В. Мищенко, Ю.В. Немировский //
Строительная механика и расчет сооружений. — 2007. — № 6. — С. 46–52.
 3. Мищенко, А.В. Нелинейное деформирование слоистого стержня [Текст] /
А.В. Мищенко, Ю.В. Немировский // Успехи строительной механики и теории со-
оружений. — Саратов : Изд-во СГТУ, 2010. — С. 174–184.
 4. Мищенко, А.В. Прямая и обратная задачи деформирования слоистых стержней с
учетом физической нелинейности [Текст] / А.В. Мищенко // Численные методы
решения задач теории упругости и пластичности: Тр. XIX Всерос. конф. — Бийск,
28–31 августа 2005 г. — Новосибирск : Параллель, 2005. — С. 184–188.
 5. Мищенко, А.В. Применение скжато-изогнутых стержней со смещенными центра-
ми сечений в рамных конструкциях [Текст] / А.В. Мищенко // Изв. вузов. Строи-
тельство. — 2007. — № 6. — С. 4–9.

*МИЩЕНКО Андрей Викторович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: mavr@hnet.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

*НЕМИРОВСКИЙ Юрий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, проф.; E-mail:
nemirov@itam.nsc.ru*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 15.02.13

Mishchenko Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, assistant professor;
E-mail: mavr@hnet.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
(Sibstrin), Russia

Nemirovsky Yuriy Vladimirovich, doctor of physical and mathematical sciences,
professor; E-mail: nemirov@itam.nsc.ru, Novosibirsk State University of Architecture and
Civil Engineering (Sibstrin), Russia

NONLINEAR DEFORMATION OF THE CROSS-LONGITUDINAL CONCRETE BARS

The method of nonlinear analysis concrete bars based on tetra-parameters quadratic
model and higher orders rigidity parameters are considered. Transformation to quasilinear
physical expressions on used secant rigidity parameters are obtained. The examples of limiting
states concrete bars on cross-longitudinal and pure bending are considered.

Key words: nonlinear concrete analysis, differently resistance materials, higher orders
rigidity parameters, secant rigidity parameters.

REFERENCES

1. Nemirovsky, Yu.V. Analysis and rational designing of wood rods [Text]/
Yu.V. Nemirovsky // Modern problems perfection and development of steel, wood and
plastic structure in the building and transport: scientific article iii-th intern.
scient.-technic. confer. — Samara : Samara State University of Architecture and Civil
Engineering, 2005. — P. 247–251.
2. Mishchenko, A.V. Analysis and rational designing of wood rod systems with the
regard for physical nonlinear [Text] / A.V. Mishchenko, Yu.V. Nemirovsky //
Structural mechanics and analysis of building. — 2007. — N 6. — P. 46–52.
3. Mishchenko, A.V. Nonlinear deformation of layered bar [Text] / A.V. Mishchenko,
Yu.V. Nemirovsky // Progress of structural mechanics and building theory. —
Saratov : SSTU, 2010. — P. 174–184.
4. Mishchenko, A.V. Direct and inverse problem of deformation of layered bars with the
regard for physical nonlinear [Text] / A.V. Mishchenko // Numerical methods for
tasks solution of elasticity and plasticity theory: Transactions of XIX all-russian
conference. Byisk, 28–31 august 2005. — Novosibirsk: Parallel, 2005. — P. 184–188.
5. Mishchenko, A.V. Using compress-bending bars with displacement of cross section
centers in frames structures [Text] / A.V. Mishchenko // News of Higher Educational
Institutions. Construction. — 2007. — N 6. — P. 4–9.

УДК 539.3

Д.А. ШЛЯХИН

ВЫНУЖДЕННЫЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТОНКОЙ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ СТУПЕНЧАТО ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ И ЖЕСТКОСТИ

Рассматривается нестационарная осесимметрическая задача для тонкой круглой пластины при действии нормальных напряжений, являющихся произвольной функцией радиальной координаты и времени. На основании теории Тимошенко методом конечных интегральных преобразований построено новое замкнутое решение для рассматриваемой системы ступенчато переменной толщины и жесткости. Полученные расчетные соотношения позволяют исследовать частотные характеристики и напряженно-деформированное состояние рассматриваемых пластин.

Ключевые слова: тонкая круглая пластина, осесимметричная динамическая нагрузка, ступенчато переменная толщина и жесткость.

1. Введение. Использование элементов строительных конструкций в виде тонких круглых пластин (плавающие крыши резервуаров, перекрытия и покрытия зданий и сооружений) ступенчато переменной толщины и жесткости в условиях нестационарных аэродинамических и технологических воздействий приводит к необходимости совершенствования методик их расчета на базе точных расчетных моделей.

Расчет рассматриваемых тел вращения, как правило, выполняется путем аппроксимации их набором кольцевой и сплошной пластин постоянной толщины [1]. Другой подход основан на использовании непрерывной зависимости изменения толщины по радиальной координате [2].

В настоящей работе для повышения достоверности полученных результатов исследование тонкой пластины проводится на основании модели Тимошенко, в которой ступенчато переменная толщина и жесткость системы описываются с помощью обобщенных функций. Такой подход позволяет впервые¹ при решении динамических задач учесть особенность резкого, в виде скачка, изменения градиента изгибающих моментов и поперечной силы в области нерегулярной структуры исследуемой системы.

2. Постановка задачи. Пусть круглая сплошная шарнирно закрепленная пластина представляет линейно-упругое анизотропное тело ступенчато переменной толщины и жесткости. Ее изгибные осесимметрические колебания осуществляются за счет действия на торцевой поверхности динамической нагрузки $q^*(r_*, t_*)$ (нормальных напряжений), являющейся произвольной функцией радиальной координаты r_* и времени t_* . В общем случае рассматриваемая система может иметь n -е количество участков, имеющих постоянную толщину и жесткость. В настоящей работе для определенности принимаем $n = 2$ и исследуем конструкцию,

¹ При исследовании задачи на собственные значения для тонких пластин ступенчато переменной толщины данная особенность учитывалась в [3].

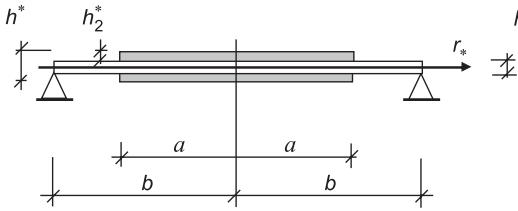


Рис. 1. Расчетная схема круглой пластины

состоящую из основной пластины толщиной h_1^* , а также двух вспомогательных аналогичных элементов меньшего диаметра высотой h_2^* (рис. 1).

Система Тимошенко для рассматриваемой в работе тонкой круглой пластины в цилиндрической системе координат и безразмерной форме записывается в виде следующих дифференциальных уравнений осесимметричного движения, а также соответствующих начально-краевых условий:

$$\nabla_1^2 W - \nabla \psi - a_1(r) \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = -A_1(r, t), \quad (1)$$

$$\nabla_2^2 \psi + a_2(r) \left(\frac{\partial W}{\partial r} - \psi \right) - a_3(r) \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = -\delta(p-r) A_2(t),$$

$$r=1: W(1, t) = 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{C_{12}^{(1)}}{C_{11}^{(1)}} \frac{\psi}{r} = 0, \quad (2)$$

$$r=0: W(0, t) < \infty, \quad \psi(0, t) < \infty,$$

$$t=0: W(r, 0) = W_0, \quad \psi(r, 0) = \psi_0, \quad \dot{W}(r, 0) = \dot{W}_0, \quad \dot{\psi}(r, 0) = \dot{\psi}_0, \quad (3)$$

где $W(r, t) = \frac{W^*(r, t)}{b}$, $W^*(r, t)$, $\psi(r, t)$ — прогиб и угол поворота сечения пластины в плоскости (r, z) ,

$$a_1(r) = \frac{C_{11}^{(1)}}{k(r) C_{55}^{(1)}} a_4(r)^{-1} \left[1 + 2 \frac{h_2}{h_1} \frac{\rho_2}{\rho_1} H(p-r) \right],$$

$$a_2(r) = \frac{12k(r) C_{55}^{(1)}}{C_{11}^{(1)} h_1^2} a_5(r)^{-1} a_4(r),$$

$$a_3(r) = a_5(r)^{-1} \left[1 + \left(\frac{h^3}{h_1^3} - 1 \right) \frac{\rho_2}{\rho_1} H(p-r) \right],$$

$$a_4(r) = 1 + 2 \frac{h_2}{h_1} \frac{C_{55}^{(2)}}{C_{55}^{(1)}} H(p-r),$$

$$a_5(r) = 1 + \left(\frac{h^3}{h_1^3} - 1 \right) \frac{C_{11}^{(2)}}{C_{11}^{(1)}} H(p-r),$$

$$A_1(r, t) = \delta(p-r) A_3(t) + \frac{C_{55}^{(1)} h_1}{k(r) (C_{55}^{(1)} h_1 + C_{55}^{(2)} 2h_2 H(p-r))} q(r, t),$$

$$q(r, t) = \frac{q^*(r, t)}{C_{55}^{(1)} h_1},$$

$$A_2(t) = a_5^{-1} \left(\frac{h^3}{h_1^3} - 1 \right) \left(\frac{C_{11}^{(2)}}{C_{11}^{(1)}} \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{C_{12}^{(2)}}{C_{11}^{(1)}} \frac{\Psi}{r} \right)_{|r=p},$$

$$A_3(t) = \frac{2h_2 C_{55}^{(2)}}{C_{55}^{(1)} h_1 + 2h_2 C_{55}^{(2)}} \left(\frac{\partial W}{\partial r} - \Psi \right)_{|r=p},$$

$$\nabla_1^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}, \quad \nabla_2^2 = \nabla_1^2 - \frac{1}{r^2},$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r}, \quad t = t_* b \sqrt{\frac{\rho_1}{C_{11}^{(1)}}}, \quad h = h_1 + 2h_2,$$

$\{r, p, h_1, h_2, h\} = \{r, a, h_1^*, h_2^*, h^*\}/b$, $\rho_1, \rho_2, C_{ms}^{(1)}, C_{ms}^{(2)}$ — объемная плотность, модули упругости соответственно основной и вспомогательных пластин; $k(r)$ — коэффициент поперечного сдвига; $W_0, \Psi_0, \dot{W}_0, \dot{\Psi}_0$ — известные в начальный момент времени перемещения, угол поворота и их скорости; $\delta(\dots), H(\dots)$ — единичные функции Дирака и Хэвисайда.

В равенстве (3) и ниже точка означает дифференцирование по времени.

При составлении (1) изгибающие моменты и поперечная сила определялись с учетом кинематических гипотез для тонких пластин:

$$\begin{aligned} M_r(r, t) &= -b^2 \frac{h_1^3}{12} \left\{ C_{11}^{(1)} \left[1 + H(p-r) \frac{C_{11}^{(2)}}{C_{11}^{(1)}} \left(\frac{h^3}{h_1^3} - 1 \right) \right] \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \right. \\ &\quad \left. + C_{12}^{(1)} \left[1 + H(p-r) \frac{C_{12}^{(2)}}{C_{12}^{(1)}} \left(\frac{h^3}{h_1^3} - 1 \right) \right] \frac{\Psi}{r} \right\}, \\ M_0(r, t) &= -b^2 \frac{h_1^3}{12} \left\{ C_{12}^{(1)} \left[1 + H(p-r) \frac{C_{12}^{(2)}}{C_{12}^{(1)}} \left(\frac{h^3}{h_1^3} - 1 \right) \right] \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \right. \\ &\quad \left. + C_{11}^{(1)} \left[1 + H(p-r) \frac{C_{11}^{(2)}}{C_{11}^{(1)}} \left(\frac{h^3}{h_1^3} - 1 \right) \right] \frac{\Psi}{r} \right\}, \\ Q_r(r, t) &= k(r) b C_{55}^{(1)} \left[h_1 + 2h_2 H(p-r) \frac{C_{55}^{(2)}}{C_{55}^{(1)}} \right] \left(\frac{\partial W}{\partial r} - \Psi \right). \end{aligned} \tag{4}$$

Система дифференциальных уравнений (1) включает в себя ступенчато переменные коэффициенты $a_1(r) \div a_5(r)$, поэтому $W(r, t), \Psi(r, t)$ являются непрерывными кусочно-гладкими функциями. При этом точки окружности радиусом p являются особыми, в которых наблюдается резкое изменение, в виде скачка, градиента изгибающих моментов и поперечной силы (нормальных и касательных напряжений). Данная особенность учитывается с помощью функций $A_2(t), A_3(t)$.

3. Построение общего решения. Начально-краевую задачу (1)–(3) относительно функций $W(r, t), \Psi(r, t)$ решаем, используя структурный алгоритм метода конечных интегральных преобразований КИП [4]. Введем на сегменте $[0, 1]$ КИП с неизвестными компонентами

$K_1(\lambda_i, r), K_2(\lambda_i, r)$ вектор-функции ядра преобразования и весовыми функциями α, β :

$$G(\lambda_i, t) = \int_0^1 [\alpha W(r, t) K_1(\lambda_i, r) + \beta \psi(r, t) K_2(\lambda_i, r)] r dr, \quad (5)$$

$$W(r, t) = \sum_{i=1}^{\infty} G(\lambda_i, t) K_1(\lambda_i, r) \|K_i\|^{-2}, \quad \psi(r, t) = \sum_{i=1}^{\infty} G(\lambda_i, t) K_2(\lambda_i, r) \|K_i\|^{-2}, \quad (6)$$

$$\|K_i\|^2 = \int_0^1 [\alpha K_1^2(\lambda_i, r) + \beta K_2^2(\lambda_i, r)] r dr,$$

где λ_i — положительные параметры, образующие счетное множество $(i=1, \infty)$.

При этом круговые частоты осесимметричных колебаний пластины ω_i связаны с λ_i зависимостью

$$\omega_i = \frac{\lambda_i}{b} \sqrt{\frac{C_{11}^{(1)}}{\rho}}. \quad (7)$$

Принимая во внимание кусочно-гладкий характер функций $W(r, t)$, $\psi(r, t)$ и представляя их в виде

$$\begin{aligned} W(r, t) &= W^{(a)}(r, t) H(r - p) + W^{(b)}(r, t) H(p - r), \\ \psi(r, t) &= \psi^{(a)}(r, t) H(r - p) + \psi^{(b)}(r, t) H(p - r), \end{aligned} \quad (8)$$

подвергаем систему уравнений (1) и начальные условия (3) преобразованиям КИП в соответствии со структурным алгоритмом [4].

В результате получаем счетное множество задач Коши для трансформанты $G(\lambda_i, t)$, решение которых имеет вид

$$G(\lambda_i, t) = G_0 \cos(\lambda_i t) + \dot{G}_0 \sin(\lambda_i t) / \lambda_i - \lambda_i^{-1} \int_0^t F(\lambda_i, \tau) \sin \lambda_i(t - \tau) d\tau, \quad (9)$$

и с учетом (2) однородную краевую задачу для компонент ядра КИП

$$\nabla_1^2 K_1^{(j)} - \nabla K_2^{(j)} + a_1^{(j)} \lambda_i^2 K_1^{(j)} = 0, \quad (j=a, b), \quad (10)$$

$$\nabla_2^2 K_2^{(j)} + a_2^{(j)} \left(\frac{dK_1^{(j)}}{dr} - K_2^{(j)} \right) + a_3^{(j)} \lambda_i^2 K_2^{(j)} = 0,$$

$$r=1: \quad K_1^{(a)}(\lambda_i, 1) = 0, \quad \frac{dK_2^{(a)}(\lambda_i, r)}{dr} \Big|_{r=1} + \frac{C_{12}^{(1)}}{C_{11}^{(1)}} K_2^{(a)}(\lambda_i, 1) = 0, \quad (11)$$

$$r=0: \quad K_1^{(b)}(\lambda_i, 0) < \infty, \quad K_2^{(b)}(\lambda_i, 0) < \infty,$$

$$r=p: \quad K_1^{(a)}(\lambda_i, p) = K_1^{(b)}(\lambda_i, p), \quad K_2^{(a)}(\lambda_i, p) = K_2^{(b)}(\lambda_i, p), \quad (12)$$

$$\frac{dK_1^{(a)}(\lambda_i, r)}{dr} \Big|_{r=p} = \frac{dK_1^{(b)}(\lambda_i, r)}{dr} \Big|_{r=p}, \quad \frac{dK_2^{(a)}(\lambda_i, r)}{dr} \Big|_{r=p} = \frac{dK_2^{(b)}(\lambda_i, r)}{dr} \Big|_{r=p}.$$

В соотношениях (9)–(12) приняты следующие обозначения:

$$K_1(\lambda_i, r) = K_1^{(a)}(\lambda_i, r) H(r - p) + K_1^{(b)}(\lambda_i, r) H(p - r),$$

$$K_2(\lambda_i, r) = K_2^{(a)}(\lambda_i, r)H(r-p) + K_2^{(b)}(\lambda_i, r)H(p-r),$$

$$a_1^{(a)} = \frac{C_{11}^{(1)}}{k^{(a)} C_{55}^{(1)}}, \quad a_2^{(a)} = \frac{12k^{(a)} C_{55}^{(1)}}{C_{11}^{(1)} h_1^2}, \quad a_3^{(a)} = 1,$$

$$a_1^{(b)} = \frac{C_{11}^{(1)} [h_1 \rho_1 + 2h_2 \rho_2]}{k^{(b)} \rho_1 [C_{55}^{(1)} h_1 + 2C_{55}^{(2)} h_2]},$$

$$a_2^{(b)} = 12k^{(b)} \frac{C_{55}^{(1)} h_1 + 2C_{55}^{(2)} h_2}{C_{11}^{(1)} h_1^3 + C_{11}^{(2)} (h^3 - h_1^3)},$$

$$a_3^{(b)} = \frac{C_{11}^{(1)} [h_1^3 \rho_1 + (h^3 - h_1^3) \rho_2]}{\rho_1 [C_{11}^{(1)} h_1^3 + C_{11}^{(2)} (h^3 - h_1^3)]},$$

$$F(\lambda_i, t) = \int_0^1 [a_1(r)^{-1} \alpha A_1 K_1 + a_3(r)^{-1} \beta A_2 K_2] \cdot r dr,$$

$$G_0(\lambda_i) = \int_0^1 [\alpha W_0 K_1 + \beta \psi_0 K_2] \cdot r dr, \quad \dot{G}_0(\lambda_i) = \int_0^1 [\alpha \dot{W}_0 K_1 + \beta \dot{\psi}_0 K_2] \cdot r dr.$$

Равенства (12) являются условиями неразрывности деформаций и усилий в точке p , которые удовлетворяются при выполнении равенства

$$k^{(a)} = \frac{C_{11}^{(1)} h_1^2}{C_{55}^{(1)}} \frac{[C_{55}^{(1)} h_1 + 2C_{55}^{(2)} h_2]}{[C_{11}^{(1)} h_1^3 + C_{11}^{(2)} (h^3 - h_1^3)]} k^{(b)},$$

где $k^{(b)}$ — коэффициент поперечного сдвига пластины на участке $0 \leq r \leq p$.

Кроме того, при определении (9)–(12) использовалось условие инвариантности исходной (1) и преобразованной (10) систем дифференциальных уравнений, позволивших определить весовые функции

$$\alpha = \alpha^{(a)} H(r-p) + \alpha^{(b)} H(p-r), \quad \beta = \beta^{(a)} H(r-p) + \beta^{(b)} H(p-r),$$

$$\alpha^{(j)} = a_1^{(j)} a_2^{(j)}, \quad \beta^{(j)} = a_3^{(j)}, \quad (j=a, b).$$

Система (10) приводится к однородному дифференциальному уравнению четвертого порядка относительно функции $K_1^{(j)}(\lambda_i, r)$, общий интеграл которого имеет вид

$$K_1^{(j)}(\lambda_i, r) = D_{1i}^{(j)} J_0(A_i^{(j)} r) + D_{2i}^{(j)} Y_0(A_i^{(j)} r) + D_{3i}^{(j)} I_0(B_i^{(j)} r) + D_{4i}^{(j)} \tilde{K}_0(B_i^{(j)} r). \quad (13)$$

$$\text{Здесь } B_i^{(j)} = \left[\frac{-\lambda_i^2 (a_1^{(j)} + a_3^{(j)}) + \sqrt{\lambda_i^4 (a_1^{(j)} - a_3^{(j)})^2 + 4a_1^{(j)} a_2^{(j)} \lambda_i^2}}{2} \right]^{1/2},$$

$A_i = [\lambda_i^2 (a_1^{(j)} + a_3^{(j)}) + (B_i^{(j)})^2]^{1/2}$, $D_{1i}^{(j)} \dots D_{4i}^{(j)}$ — постоянные интегрирования, $J_\eta(\dots), Y_\eta(\dots), I_\eta(\dots), \tilde{K}_\eta(\dots)$ — обыкновенные и модифицированные функции Бесселя первого и второго родов порядка η .

Принимая во внимание (13) из (10), получаем выражение для $K_2^{(j)}(\lambda_i, r)$

$$\begin{aligned} K_2^{(j)}(\lambda_i, r) = & n_{1i}^{(j)} [D_{1i}^{(j)} J_1(A_i^{(j)} r) + D_{2i}^{(j)} Y_1(A_i^{(j)} r)] + \\ & + n_{2i}^{(j)} [D_{3i}^{(j)} I_1(B_i^{(j)} r) - D_{4i}^{(j)} \tilde{K}_1(B_i^{(j)} r)], \\ n_{1i}^{(j)} = & A_i^{(j)} n_{3i}^{(j)} [(A_i^{(j)})^2 - a_1^{(j)} \lambda_i^2 - a_2^{(j)}], \\ n_{2i}^{(j)} = & B_i^{(j)} n_{3i}^{(j)} [(B_i^{(j)})^2 + a_1^{(j)} \lambda_i^2 + a_2^{(j)}], \quad n_{3i}^{(j)} = (a_2^{(j)} - a_3^{(j)} \lambda_i^2)^{-1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Подстановка (13), (14) в (11), (12) позволяет сформулировать трансцендентное уравнение для определения λ_i и выражения для постоянных интегрирования $D_{1i}^{(j)} \dots D_{4i}^{(j)}$ ($j = a, b$).

Применяя к трансформанте $G(\lambda_i, t)$ (9) формулы обращения (6), получаем с учетом (13), (14) выражения для $W(r, t), \psi(r, t)$.

4. Численные результаты. В качестве примера рассматривается пластина ступенчатой толщины, имеющая следующие физические характеристики материала соответственно основной и вспомогательных ее частей $\rho_1 = 7800 \text{ кг/m}^3, \{C_{11}^{(1)}, C_{12}^{(1)}, C_{55}^{(1)}\} = \{22,35, 6,26, 8,05\} \times 10^{10} \text{ Н/m}^2$, $\rho_2 = 7600 \text{ кг/m}^3, \{C_{11}^{(2)}, C_{12}^{(2)}, C_{55}^{(2)}\} = \{10,33, 5,8, 2,5\} \times 10^{10} \text{ Н/m}^2$.

На рис. 2, 3 приведены графики изменения собственных значений λ_i от параметра p первых двух ($i=1, 2$) резонансных частот, полученные с помощью трансцендентного уравнения теории Тимошенко (сплошные линии) и на основании аналогичных соотношений технической теории, основанной на гипотезах Кирхгофа–Лява (пунктирные линии). Цифрами обозначены результаты для пластин, имеющие следующие толщины: 1 — $h_1 = h_2 = 0,02$; 2 — $h_1 = h_2 = 0,07$.

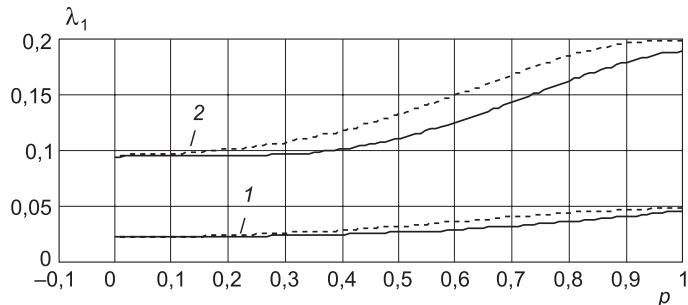


Рис. 2. Зависимость λ_1 от параметра p

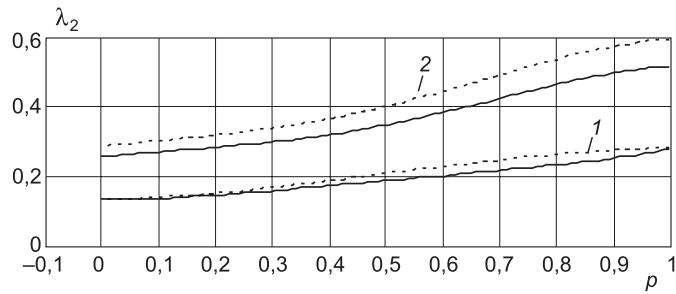


Рис. 3. Зависимость λ_2 от параметра p

Замечаем, что для достаточно тонких (кривые 1) сплошных ($p=0,1$) пластин численные значения первых двух частот, вычисленные по обеим теориям, практически одинаковы (наибольшее расхождение составляет 2 %). Однако, когда радиусы основной и вспомогательных пластин не совпадают, разница в численных значениях λ_i для первой и второй мод колебаний достигает 15 %. При исследовании более толстых пластин (кривые 2) данная разница становится более заметной и в дальнейшем она возрастает с номером частоты и толщин h_1, h_2 .

Исследование напряженно-деформированного состояния круглой пластины проведем для случая действия равномерно распределенной нагрузки

$$q(r,t) = q_0 \sin \theta t,$$

где θ, q_0 — частота и амплитудное значение в безразмерной форме.

На рис. 4 показаны осциллограммы, характеризующие изменение вертикальных перемещений $W(0,t)$ во времени t ($h_1 = h_2 = 0,02, p = 0,9$). Сплошными линиями обозначены графики, полученные с учетом особенностей напряженно-деформированного состояния пластины в точках окружности радиусом p , а пунктирными — без учета функций $A_2(t), A_3(t)$. Кроме того, цифрами 1, 2 соответственно отмечены результаты для $\theta = 0,2\lambda_1; 0,6\lambda_1$.

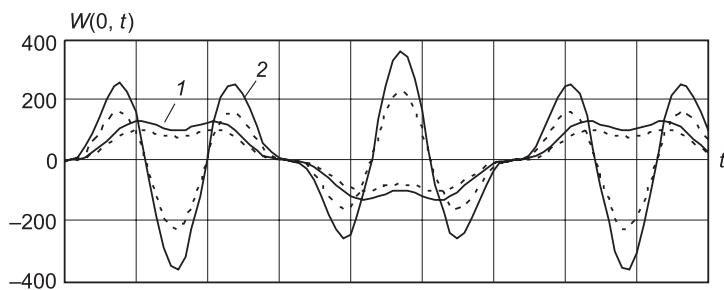


Рис. 4. Графики изменения $W(0,t)$ по времени при $p = 0,9$
1 — $\theta = 0,2\lambda_1$, 2 — $\theta = 0,6\lambda_1$

Следует отметить, что функции $A_2(t), A_3(t)$ оказывают существенное влияние на численные значения перемещений рассматриваемого упругого элемента. При низкочастотном внешнем воздействии ($\theta = 0,2\lambda_1$) данная особенность приводит к росту $W(0,t)$ до 10 %, а в случае $\theta = 0,6\lambda_1$ разница в перемещениях увеличивается и составляет 20 ÷ 25 %.

Кроме того, увеличение частоты внешнего воздействия в рассматриваемом диапазоне приводит к росту перемещений, т.е. более полному проявлению инерционных свойств рассматриваемой системы.

5. Выводы. На основании проведенных в работе исследований можно сформулировать следующие выводы:

- построено новое аналитическое решение нестационарной осесимметричной задачи для тонкой круглой пластины ступенчато переменной толщины и жесткости;

- новое представление исходных дифференциальных уравнений движения позволяет учесть особенности изменения градиента изгибающего момента и поперечной силы в зоне нерегулярности структуры пластины. Учет данного эффекта приводит к существенному увеличению деформаций;

- численные результаты расчета, полученные при использовании уточненной теории Тимошенко и классической технической теории, пока-

зывают, что при расчете пластин ступенчато переменной толщины и жесткости кинематическими гипотезами Кирхгофа–Лява пользоваться нельзя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фридман, Л.И. Динамический расчет круглых пластин переменной толщины при отказе от гипотезы Кирхгофа [Текст] / Л.И. Фридман // Вопросы проект. и доводки авиац. газотурб. двигателей. Межвуз. сб. науч. тр. — Куйбышев : КуАИ, 1977. — С. 122–130.
2. Моргачев, К.С. Нестационарная динамика кольцевой пластины Тимошенко переменной толщины [Текст] / К.С. Моргачев // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. — 2007. — № 2. — С. 162–164.
3. Хмелев, В.Н. Исследование зависимости геометрических размеров на характеристики излучателя в виде пластины [Текст] / В.Н. Хмелев, А.Н. Галахов, А.Н. Лебедев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова // Материалы Всерос. конф. ИAMP-2010. — Бийск, 2010. — С. 200–206.
4. Сеницкий, Ю.Э. Многокомпонентное обобщенное конечное интегральное преобразование и его приложение к нестационарным задачам механики [Текст] / Ю.Э. Сеницкий // Изв. вузов. Математика. — 1991. — № 4. — С. 57–63.

Шляхин Дмитрий Аверкиевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: d-612-mit2009@yandex.ru

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Получено после доработки 20.02.13

Shlyakhin Dmitry Averkievich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: d-612-mit2009@yandex.ru, Samara University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE COMPELLED AXIALLY SYMMETRIC FLUCTUATIONS OF THIN ROUND PLATE STEPWISE VARIABLE THICKNESS AND RIGIDITY

Is considered non-stationary axisymmetric problem for a thin circular plate under the action of normal stresses, is an arbitrary function of radial coordinate and time. On the basis of the theory of Tymoshenko by the method of finite integral transformations built a new closed solution for the system stepwise variable thickness and rigidity. The obtained estimates of the ratio allow you to explore the frequency characteristics and stress-strain state of the considered plates.

Key words: thin circular plate, axially symmetric dynamic load, continuously variable thickness and stiffness.

REFERENCES

1. Friedman, L.I. Dynamic calculation of round plates of variable thickness with a refusal from the hypothesis of Kirchhoff [Text] / L.I. Friedman // The questions of design and development of aircraft gas-turbine engines. Interuniversity collection of scientific works. — Kuibyshev : KuAI, 1977. — P. 122–130.
2. Morgachev, K.S. Nonstationary dynamics of circular plates of variable thickness Tymoshenko [Text] / K.S. Morgachev // Vestn. Samara State Techn. University. — 2007. — N 2. — P. 162–164.
3. Khmelyev, V.N. Study of the dependence on the geometric dimensions of characteristics of the radiator in the form of a plate [Text] / V.N. Khmelyev, A.N. Galakhov, A.N. Lebedev, A.V. Shalunov, K.V. Shalunova // All-Russian Conference IAMP-2010. — Biisk, 2010. — P. 200–206.
4. Senitsky, Yu.E. Multicomponent generalized finite integral transformation and its application to nonstationary tasks of the mechanics [Text] / Yu.E. Senitsky // News of higher schools. Mathematics. — 1991. — N 4. — P. 57–63.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.32:539.37

**Б.С. КОМИССАРЕНКО, В.З. АБДРАХИМОВ, И.В. КОВКОВ,
А.В. КОЛПАКОВ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМЗИТОВЫХ ГРАНУЛ В БЕТОНЕ

Исследования показали, что введение керамзитовой гранулы в растворную составляющую меняет ее прочностные и деформативные свойства. Наличие обжимающей гранулу матрицы увеличивает предельную сжимаемость, коэффициент Пуассона, прочность гранулы и модуль упругости, который возрастает в 1,4–1,8 раза. Увеличение модуля упругости керамзита происходит вследствие появления эффекта обоймы, которая придает грануле объемно-упругие свойства.

Ключевые слова: керамзитовый гравий, бетон, раствор, прочность, деформация, плотность.

В настоящей работе для исследования прочностных и деформативных характеристик в бетоне керамзитового гравия и взаимодействия его в растворе предварительно были отобраны гранулы керамзита из глины Смышляевского месторождения [1].

Методика отбора керамзита по группам была следующей. Из партии легкого керамзита, полученного из глины Смышляевского месторождения, было отобрано 120 гранул. Каждая гранула взвешивалась на весах ВТК-500 с точностью до 0,01 г. После этого определялся объем каждой гранулы погружением в воду. Предварительно гранулы насыщались водой в течение 1 ч, а затем протирались мягкой влажной тканью. Объем гранул замерялся по объему вытесненной ими воды с точностью до 0,1 см³. После этого подсчитывалась средняя плотность каждой гранулы в г/см³ с точностью до 0,001 г/см³. Затем все гранулы были разделены на 20 групп со средними плотностями каждой группы: 1 — 0,219; 2 — 0,231; 3 — 0,239; 4 — 0,242; 5 — 0,248; 6 — 0,250; 7 — 0,255; 8 — 0,261; 9 — 0,266; 10 — 0,272; 11 — 0,275; 12 — 0,279; 13 — 0,286; 14 — 0,291; 15 — 0,293; 16 — 0,296; 17 — 0,301; 18 — 0,307; 19 — 0,319 и 20 — 0,342 г/см³.

Гранулы керамзита помещались в образец из раствора размером 50×50×50 мм, который представляет собой условную элементарную ячейку керамзитобетона. Продольные и поперечные деформации керамзитовых гранул, растворной составляющей между гранулой и наружной поверхностью образца, а также образца в целом проводились с помощью проволочных тензометрических датчиков 2ПКБ-5-100xB и 2ПКБ-5-100ГБ. Схема расположения тензодатчиков приведена на рис. 1.

Перед наклейкой датчиков на гранулу, размещением их в растворе и наклейкой на наружные поверхности образцов к выводам датчиков при-

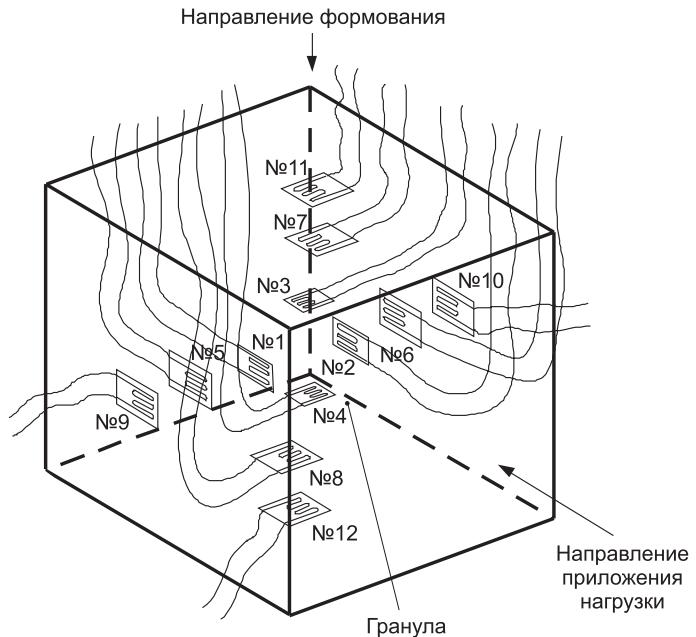


Рис. 1. Схема расположения гранулы и датчика

№ 1–4 — датчики, наклеенные на гранулу; № 5–8 — датчики в растворе между гранулой и наружными поверхностями образца; № 9–12 — датчики, наклеенные на наружных поверхностях образца

паивались проводки длиной около 25 см из медной проволоки толщиной 0,20 мм. Выводы датчиков, предназначенных для помещения в раствор, места спайки их с проводками и проводки покрывались двумя слоями изоляции на поливинилхлоридной основе. Для изоляции такого типа характерно сочетание высокой стойкости в агрессивных средах (кислотах, щелочах, растворах солей) с хорошими физико-механическими и диэлектрическими свойствами, что исключает появление токов короткого замыкания в жидкой фазе цементного раствора между проводками во время измерений.

Наклейка датчиков на гранулы и изоляция их поверхностей с целью устранения промокания обкладок производились kleem «МоХ₀l» в два слоя. Сразу после нанесения второго слоя kleя датчики покрывались слоем мелкого кварцевого песка (0,15–0,3 мм) для обеспечения хорошего сцепления их с раствором.

Для изготовления образцов, имитирующих элементарную ячейку бетона, готовился цементный раствор на керамзитовом песке, полученном дроблением особого легкого керамзита. Состав раствора определялся $B/C = 0,578$ и $P/C = 0,4$, что обеспечивало хорошую его удобоукладываемость и нерасслаиваемость. Вначале в форму укладывался нижний слой раствора до датчика № 8 (см. рис. 1), помещался датчик № 8 таким образом, чтобы он находился на равном расстоянии от поверхности гранулы и нижней поверхности образца. После этого раствор укладывался в форму до половины ее высоты, а затем помещалась керамзитовая гранула с фиксацией ее во избежание всплытия и датчики № 5 и 6. Уплотнение раствора в форме осуществлялось штыкованием деревянным стержнем диаметром 2–3 мм. Таким же образом укладывается оставшийся раствор и датчик № 7.

Параллельно с изготовлением бетонных ячеек готовились чисто растворные образцы (по одному на серию гранул), внутрь которых также за-

кладывались тензодатчики. Размещение тензодатчиков соответствовало положению датчиков № 1–8 в образцах.

Приготовленные таким образом образцы в течение 1 сут твердели в форме, после чего распалубливались и продолжали твердеть в воздушно-сухих условиях.

Контроль сохранности изоляции датчиков и их видов в процессе твердения образцов осуществлялся с помощью автоматического измерителя деформаций АИД-1М.

По истечении 14 сут с момента затворения на наружные поверхности образцов-кубов kleem «Mohol» наклеивались тензодатчики, а грузовые поверхности для снятия трения о плиты пресса парафинировались, после чего образцы испытывались на сжатие.

Испытание растворных и бетонных образцов-ячеек производилось на гидравлическом прессе ГМС-50 с увеличением нагрузки ступенями. На каждой ступени фиксировались продольные и поперечные деформации прибором АИД-1М. По полученным результатам подсчитывались напряжения в поперечных сечениях образцов, модули упругости и коэффициенты Пуассона.

Наиболее характерными для всех серий испытаний, проведенных на данной пробе керамзитового гравия, являются результаты, полученные с гранулами группы № 7.

На рис. 2 показаны зависимости $\sigma/R - \varepsilon$ (σ — напряжение, R — прочность, ε — деформация) для гранул группы 7, испытанных как в бетоне, так и в свободном состоянии, а также для чистого раствора в точках, соответствующих расположению датчиков № 1, 2, 7, 8 (см. рис. 1).

Из графиков, приведенных на рис. 2, видно, что продольные и поперечные деформации при сжатии гранулы, находящейся в обойме раствора, находятся в предельном состоянии и равны:

$$\varepsilon_{\text{прод}} = 425 \cdot 10^{-5} \text{ и } \varepsilon_{\text{поп}} = 170 \cdot 10^{-5}, \text{ т.е. } \gamma_{\text{пред}} = \varepsilon_{\text{поп}} / \varepsilon_{\text{прод}} = 170 / 425 = 0,4.$$

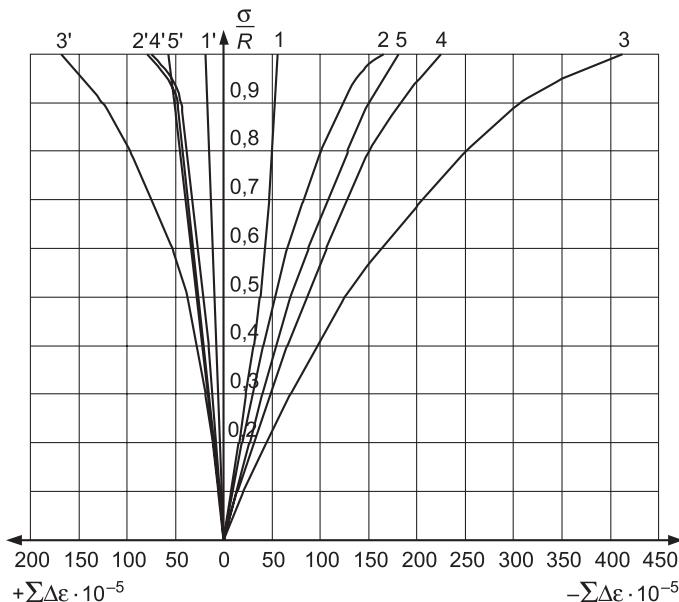


Рис. 2. Зависимость $\sigma/R - \varepsilon$
1; 1' — для свободной гранулы; 2; 2' — для раствора; 3; 3' — для гранулы в растворе; 4; 4' — для раствора между гранулой и наружной поверхностью образца; 5; 5' — для наружной поверхности образца

Среднее значение модуля упругости в предельном состоянии гранул-аналогов, испытанных на сжатие в свободном состоянии, составляет

$$E_{\text{гр}} = 1,03 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2$$

при средней прочности гранул этой группы 5,74 кг/см². Тогда модуль упругости гранулы, работающей в оболочке из раствора:

$$E_v = E_{\text{гр}} / 3(1 - 2\gamma_{\text{пред}}) = 1 \cdot 03 \cdot 10^4 / 3(1 - 2 \cdot 0,4) = 1,72 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2.$$

Прочность керамзитовой гранулы в бетоне может быть найдена как

$$G_{\text{гр}}^{\text{пред}} = E_v \cdot \varepsilon_{\text{прод}} = 1,72 \cdot 10^4 \cdot 425 \cdot 10^{-5} = 73,2 \text{ кг/см}^2,$$

т.е. в $73,2 / 5,74 = 12,7$ раза выше прочности гранулы в свободном состоянии.

Для чистого раствора, имеющего состав, аналогичный составу раствора с включенными в него гранулами, при $G_p^{\text{пред}} = 168 \text{ кг/см}^2$ и $\varepsilon_{\text{прод}}^{\text{пред}} = 165 \cdot 10^{-5}$

$$E_p = (168 / 165) \cdot 10^5 = 10,2 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2.$$

Средняя прочность образцов с гранулами составила

$$G_{\sigma}^{\text{пред}} = 132 \text{ кг/см}^2$$

$$\text{и } E_{\sigma}^{\text{пред}} = G_{\sigma}^{\text{пред}} / \varepsilon_{\sigma}^{\text{пред}} = 132 / 183 \cdot 10^5 = 7,21 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2.$$

Из графика, приведенного на рис. 3, видно, что деформации в сечении растворенного образца, перпендикулярном направлению приложения сил, распределяются неравномерно. При условии распределения напряжений в сечении пропорционально продольным деформациям в нем напряжения в растворе на грани с предполагаемой гранулой и над ней будут равны

$$G_m = [168 / (167 \cdot 10^{-5})] \cdot 238 \cdot 10^{-5} = 209 \text{ кг/см}^2,$$

где $167 \cdot 10^{-5}$ — средняя продольная деформация поперечного сечения образца в предельном состоянии в его середине по высоте, определенная по значениям, взятым из графика $\sigma / R - \varepsilon$ на рис. 3.

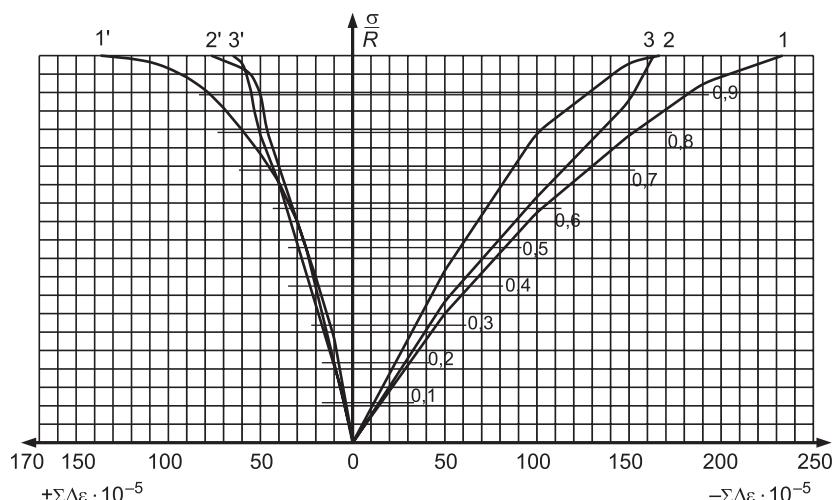


Рис. 3. Зависимость $\sigma / R - \varepsilon$ для раствора без гранулы

1; 1' — для раствора в местах, соответствующем положению датчиков на грануле;
2; 2' — для раствора; 3; 3' — для наружной поверхности образца

Исходя из аддитивности распределения предельных напряжений в бетоне пропорционально площадям, занимаемым заполнителем и раствором в поперечном сечении, напряжения в растворе составляют:

$$G_e^{\text{пред}} = G_{\sigma}^{\text{пред}} - G_{\text{рп}}^{\text{пред}} \cdot E_{\text{рп}} / E_{\text{сеч}} = 132 - 73,2 \cdot 2,12 \approx 125 \text{ кг/см}^2,$$

тогда найдем коэффициенты концентрации напряжений в грануле, растворе рядом с гранулой и над ней

$$K_3 = 73,2 / 132 = 0,555; K_l = 125 / 132 = 0,946;$$

$$K_m = 209 / 132 = 1,582.$$

Представляя идеализированную модель структуры бетона в виде сочетания слоев V_l и V_m с включенной V_3 в их центр керамзитовой гранулой (рис. 4), можно принять, что область наибольших напряжений в бетоне V_m описывается цилиндром диаметром, равным диаметру гранулы $d_{\text{рп}}$, и высотой, равной величине раздвижки зерен H , а область наименьших напряжений в объеме V_l — диском толщиной, равной диаметру гранулы $d_{\text{рп}}$, и диаметром, равным величине раздвижки зерен H .

В рассмотренном случае при объеме гранулы $V_3 = 5,65 \text{ см}^3$ ($d_{\text{рп}} = 2,21 \text{ см}$) объемы раствора над гранулой и рядом с ней будут соответственно равны:

$$V'_l = (\pi H^2 / 4) \cdot d_{\text{рп}} - V'_3 = (3,14 \cdot 25 / 4) \cdot 2,21 - 5,65 = 37,75 \text{ см}^3;$$

$$V'_m = (\pi d_{\text{рп}}^2 / 4) \cdot H - V'_3 = (3,14 \cdot 2,21^2 / 4) \cdot 5 - 5,65 = 13,55 \text{ см}^3;$$

$$\Sigma V = V'_3 + V'_l + V'_m = 5,65 + 37,75 + 13,55 = 56,95 \text{ см}^3.$$

Находим удельное содержание каждой части в общем объеме ΣV :

$$V_3 = V'_3 / \Sigma V = 5,65 / 56,95 = 0,0992;$$

$$V_l = V'_l / \Sigma V = 37,75 / 56,95 = 0,6628;$$

$$V_m = V'_m / \Sigma V = 13,55 / 56,95 = 0,2380.$$

Определим модуль упругости рассматриваемой элементарной ячейки

$$E_{\sigma} = [1 / (V_3 / E_3) K_3 + (V_l / E_l) K_l + (V_m / E_m) K_m] = 7,66 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2. \quad (1)$$

Таким образом, значения модуля упругости, полученного теоретическим и экспериментальным путем, практически совпадают:

$$E_{\sigma}^{\text{теор}} = 7,66 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2 \text{ и } E_{\sigma}^{\text{эксп}} = 7,21 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2.$$

Погрешность в определении составила

$$\Delta E_{\sigma} = \pm [(E_{\sigma}^{\text{эксп}} - E_{\sigma}^{\text{теор}}) / E_{\sigma}^{\text{эксп}}] \cdot 100 = \pm 6,2 \text{ \%}.$$

Полученные результаты показывают, что введение керамзитовой гранулы в растворную составляющую меняет ее прочностные и деформационные свойства. Наличие обжимающей гранулу матрицы увеличивает предельную сжимаемость с $90-100 \cdot 10^{-5}$ до $200-250 \cdot 10^{-5}$; коэффициент Пуассона с $0,25-0,30$ до $0,38-0,42$. Прочность гранулы увеличилась с 6-7 до 30-35 кг/см², а модуль упругости возрастает в 1,4-1,8 раза.

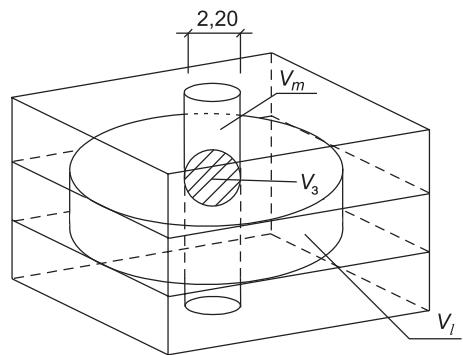


Рис. 4. Идеализированная схема структуры керамзитобетона

Увеличение модуля упругости керамзита происходит вследствие появления эффекта обоймы, которая придает грануле объемно-упругие свойства. В этом случае объемный модуль упругости

$$E_3^V = E_3 / 3(1 - 2\mu). \quad (2)$$

Прочность гранул в бетоне может быть определена из выражения

$$R_3^V = \varepsilon_{\text{пред}} \cdot E_3^V. \quad (3)$$

Модуль упругости керамзитобетона с достаточной точностью может быть вычислен по формуле (1), вытекающей из принятой идеализированной схемы структуры бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колпаков, А.В. Исследование структуры пористости керамзита из глинистых материалов различного химико-минералогического состава [Текст] / А.В. Колпаков, В.З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 1. — С. 33–40.

КОМИССАРЕНКО Борис Семенович, д-р техн. наук, проф.

«НИИКерамзит», г. Самара

АБДРАХИМОВ Владимир Закирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 3375892@mail.ru

Самарская академия государственного и муниципального управления

КОВКОВ Илья Валерьевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kovkoviv@mail.ru

Самарская академия государственного и муниципального управления

КОЛПАКОВ Александр Викторович, асп.; E-mail: roland.alex@mail.ru

Самарская академия государственного и муниципального управления

Получено 01.02.13

Komissarenko Boris Semenovich, doctor of technical sciences, professor, «NIIKeramzit», Samara, Russia

Abdrakhimov Vladimir Zakirovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: 3375892@mail.ru, Samara Academy State and Municipal Management, Russia

Kovkov Ilya Valерьевич, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: kovkoviv@mail.ru, Samara Academy State and Municipal Management, Russia

Kolpakov Aleksandr Viktorovich, post-graduate student; E-mail: roland.alex@mail.ru, Samara Academy State and Municipal Management, Russia

RESEARCH OF STRENGTH AND NONRIGID CHARACTERISTICS OF CERAMSITE PARTICLE IN CONCRETE

Researches has shown that insertion of ceramsite particle to mortar constituent change her strength and nonrigid properties. Presence of the matrix compressing the particle increase maximum compressibility, Poisson ratio, strength of the particle and modulus of elasticity, which increase 1,4–1,8 times. The modulus of elasticity increase of keramzit is due to the appearance of hooping effect which gives particle volume-elastic properties.

Key words: expanded clay gravel, concrete, mortar, strength, deformation, density.

REFERENCES

1. Kolpakov, A.V. Study of the structure of expanded clay porosity clay materials of different chemical and mineralogical composition [Text] / A.V. Kolpakov, V.Z. Abdrakhimov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 1. — P. 33–40.

УДК 691.328

О.С. БОЧКАРЕВА, Г.А. ЗИМАКОВА

**ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИИ
ДИСПЕРСНО-АРМИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕФИБРОБЕТОНА**

Представлены результаты исследования влияния конфигурации дисперсно-армирующего компонента на механические свойства сталефибробетона.

Ключевые слова: сталефибробетон, модифицирование бетонов, прочность на растяжение при изгибе, трещиностойкость.

Современное строительство неразрывно связано с задачами, имеющими отношение к повышению эффективности строительного производства, снижению стоимости и трудоемкости технологических процессов, экономическому использованию материальных и энергетических ресурсов, применению новых прогрессивных материалов [1].

Один из перспективных конструкционных материалов, позволяющий добиться высоких эксплуатационных показателей, — фибробетон, модифицированный современными химическими добавками. На основании проведенных исследований выявлено, что повышению прочностных и деформативных показателей способствует: на микроуровне — получение при гидратации цемента гидросиликатов кальция волокнистой структуры, позволяющей им работать на растяжение, что достигается модифицированием бетона химическими добавками; на макроуровне — дисперсное армирование бетона. В результате комплексного решения структурообразования на всех уровнях обеспечивается получение высококачественных бетонов.

Номенклатура используемых дисперсно-армирующих волокон достаточно широка: от дефицитных, например, из карбида кремния, вольфрама до сравнительно доступных для применения в массовом строительстве — стальных, стеклянных, полимерных волокон. Не все волокна отвечают требованиям, которые предъявляются к арматуре бетонов. В этой связи наиболее важными являются такие показатели, как прочность, деформативность, химическая стойкость армирующего материала, его адгезия к бетону, коэффициент линейного расширения [1].

Свойства сталефибробетона как композиционного материала определяются свойствами составляющих его компонентов. Наибольшая эффективность сталефибробетона достигается при правильном сочетании свойств составляющих его компонентов.

На основе научно-практических исследований было выявлено, что наиболее применяемой и эффективной в конструкционном отношении является стальная фибра, так как ее модуль упругости в 5–6 раз превышает модуль упругости бетона. При достаточной анкеровке в бетоне может быть полностью использована прочность и получен наибольший вклад фибры в работу композита в стадиях до и после образования трещин.

В данной работе выполнена оценка прочностных показателей сталефибробетона с объемным армирующим компонентом спиралевидной формы длиной 15, 20, 25 мм, диаметр пружины 5 мм, диаметр стальной проволоки 0,5 мм, для сравнения испытаниям подвергались также образцы с линейной фиброй из тонкого листа длиной 33 мм, шириной 2 мм, толщиной 0,3 мм.

Для приготовления опытных образцов использовались армирующие материалы в дозировках 70 кг / м³, что соответствует коэффициенту фибрового армирования по массе 2,5 %.

Приготовление фибробетона производилось в следующей последовательности. На начальном этапе перемешивались до однородности цемент и песок, далее постепенно добавлялось волокно и снова производилось перемешивание. Затем в полученную смесь добавлялся крупный заполнитель в соответствии с принятой дозировкой. Дальнейшее перемешивание происходило при постепенном добавлении воды с растворенной в ней пластифицирующей добавкой до получения гомогенной бетонной смеси. В качестве добавки был использован суперпластификатор Мурапласт ФК 48 в дозировке 1 % от расхода цемента.

Образцы испытывались в 28-суточном возрасте, твердение происходило в нормально-влажностных условиях.

Графическая интерпретация изменения прочностных параметров при введении стальных фибр с постоянным коэффициентом фиброармирования в сочетании с пластифицирующей добавкой отражена на рисунке.

Для контрольного образца (без добавки и фибры) $R_{сж} = 27,2$ МПа, $R_{изг} = 3,73$ МПа, $R_p = 5,20$ МПа; для образца с пластифицирующей добавкой (без фибры) $R_{сж} = 39,9$ МПа, $R_{изг} = 4,14$ МПа, $R_p = 5,50$ МПа.

По результатам испытания образцов на сжатие при введении модифицирующей добавки диагностировалось увеличение прочности на сжатие на 47 % по сравнению с контрольным образцом. При совместном действии добавки и стальной линейной фибры прирост прочности составил 49 %, стальной спиралевидной фибры ($l = 20$ мм) — 51 %. Решающее влияние на возрастание прочности на сжатие оказала добавка, позволившая сократить расход воды с сохранением реологии.

Влияние пластифицирующего компонента на изменение прочности на растяжение при изгибе в сторону ее увеличения на 11 % по сравне-

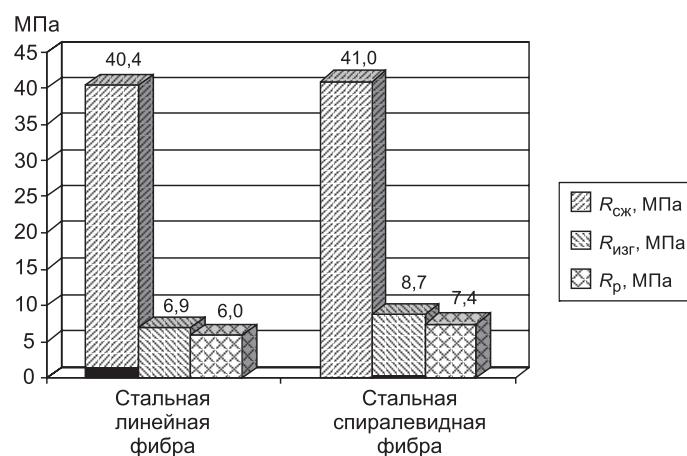


Диаграмма показателей предела прочности при сжатии, растяжении при изгибе, раскалывании образцов бетона с дисперсионно-армирующими волокнами

нию с контрольным образцом объясняется получением при гидратации цемента гидросиликатов кальция волокнистой структуры, позволяющей им работать на растяжение. При совместном действии добавки и стальной линейной фибры прирост прочности составил 85 %, разработанной стальной спиралевидной фибры — 134 %. Прирост прочности на растяжение при раскалывании составил при совместном действии добавки и стальной линейной фибры — 15 % по сравнению с контрольным образцом, в то время как стальной спиралевидной фибры — 42 %. Получаемый эффект упрочнения в значительной мере зависит от вида используемых волокон, характера их сцепления с бетонной матрицей.

Важным показателем для фибробетонов является трещиностойкость. Показателем трещиностойкости принят критерий соотношения прочности на растяжение при изгибе к прочности на сжатие. По мнению исследователей [2], это позволяет в первом приближении оценить деформативные свойства бетона, результаты представлены в таблице.

Влияние вида стальной фибры на физико-механические свойства и трещиностойкость бетона

№ состава	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	Прочность на растяжение при изгибе $R_{изг}$, МПа	Трещиностойкость $\left(\frac{R_{изг}}{R_{сж}} \right)$
1. Контрольный	27,2	3,73	0,14
2. С пластифицирующей добавкой	39,9	4,14	0,10
3. С пластифицирующей добавкой и стальной линейной фиброй	40,4	6,90	0,17
4. С пластифицирующей добавкой и стальной спиралевидной фиброй $l = 15$ мм	40,7	7,50	0,18
5. С пластифицирующей добавкой и стальной спиралевидной фиброй $l = 20$ мм	41,0	8,70	0,21
6. С пластифицирующей добавкой и стальной спиралевидной фиброй $l = 25$ мм	40,0	7,80	0,20

При нагружении бетона, армированного объемной фиброй, отмечается, что при нагрузке, превышающей 40 % предела прочности, в бетоне возникают микротрещины на границе контакта цементного камня и заполнителя, разрушение по границе контакта фибра — цементный камень не происходит.

Таким образом, разработанная спиралевидная форма стальных фибр отвечает всем требованиям к дисперсно-армирующим компонентам. Увеличение относительной длины конструкции фибр обеспечивается за счет спиралевидной формы в отличие от линейной конструкции, где увеличение длины ограничено различными факторами (толщина конструкции, технология перемешивания). Увеличение длины фибры можно обеспечить только путем применения особой геометрии — спиралевидной формы. Конфигурация армирующего компонента в виде пружин позволяет обеспечить хорошее сцепление фибр с бетонной матрицей, создается более совершенная структура бетона, за счет полного омоноличивания пружин в теле бетона, вырывание волокон из бетона не наблюдалось.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о перспективности применения сталефибробетона с объемным армирующим компонентом спиралевидной формы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции : монография [Текст] / Ф.Н. Рабинович. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 560 с.
2. Рамачандран, В. Наука о бетоне: Физико-химическое бетоноведение [Текст] / В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн ; пер. с англ. Т.И. Розенберг, Ю.Б. Ратиновой; под ред. В.Б. Ратиновой. — М. : Стройиздат, 1986. — 278 с.

БОЧКАРЕВА Ольга Станиславовна, ассист.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

ЗИМАКОВА Галина Александровна, канд. техн. наук, доц.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 12.02.13

Bochkareva Olga Stanislavovna, assistant, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Zimakova Galina Alexandrovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

INFLUENCE OF THE CONFIGURATION OF THE DISPERSE REINFORCING COMPONENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

Presented the results of studying the influence of configuration of the reinforcing component dispersed on the mechanical properties of steel fiber reinforced concrete.

Key words: steel fiber reinforced concrete, modification of concrete, bending tensile strength, cracking resistance.

REFERENCES

1. Rabinovich, F.N. Composites on the basis of disperse reinforced concrete. Theory and design questions, technology, constructions: monography [Text] / F.N. Rabinovich. — M. : Publishing house ASV, 2004. — 560 p.
 2. Ramachandran, V.S. Concrete science : a treatise on current research. [Text] / V.S. Ramachandran, R.F. Feldman, Y.Y. Beaudoin. — Heyden London. Philadelphia. Rheine, 1986. — 278 p.
-

УДК 691.33:693.546.3

О.А. ИГНАТОВА, А.Т. ПИМЕНОВ, В.В. ФОМЕНКО

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СИСТЕМ,
ОБРАЗОВАННЫХ ОСНОВАНИЕМ
И ПОКРЫВАЮЩИМ СЛОЕМ**

Изложены основные преимущества торкремирования по сравнению с другими приемами бетонирования, а также проблемы, возникающие при применении некондиционного сырья и нарушении технологии. Предлагается повышение качества торкрем-систем за счет использования высококальциевых зол.

Ключевые слова: торкрем-система, плохое сцепление, высококальциевая зола.

При ремонте зданий с нанесением на конструкции различных покрытий возникает проблема обеспечения монолитности основания и защитного слоя в процессе совместной работы. Качество таких систем зависит не только от материала и выполнения работ, но и от усадочных деформаций покрывающего слоя, которые могут привести к трещинообразованию и нарушению целостности систем [1].

Одним из современных способов ремонта или восстановления строительных конструкций является торкремирование. Это прогрессивный способ нанесения на обрабатываемую поверхность основания покрывающего слоя раствора или бетона. Торкрем-система, состоящая из цемента, песка, щебня и воды, с возможным применением арматуры или металлических фибр, наносится на основание под давлением сжатого воздуха. Торкремирование имеет ряд преимуществ перед другими методами бетонирования — это полная механизация технологического процесса, включающего одну операцию, совмещающую транспортирование, укладку и уплотнение бетона или раствора. Торкрем-раствор должен хорошо держаться на стенах и потолках, при этом не требует опалубки. Диапазон области применения торкрем-раствора достаточно широк. При возведении новых зданий при помощи торкремирования можно производить гидроизоляцию гидротехнических сооружений, тоннелей, коллекторов, отделку сводов штолен, туннелей и других аналогичных сооружений. При производстве ремонтных работ, восстановлении конструкций зданий при помощи торкрем-раствора (бетона) устраивают защитные слои, устраняют дефекты строительства бетонных сооружений [2].

При выполнении работ по устройству шахтной крепи в районах Крайнего Севера основной проблемой качества таких систем является плохое сцепление покрывающего слоя (торкрем-раствора) с основанием. Это объясняется низким качеством местного сырья и нарушениями технологических регламентов. При приготовлении сухой смеси для торкремирования используется песок с содержанием пылевидных и глинистых частиц более 9 %, что превышает максимально допустимое значение более чем в три раза. Кроме этого местные пески отличаются повышенной влажностью от 8 до 15 %. При приготовлении сухой торкрем-смеси это приводит к ранней гидратации цемента и в дальнейшем к снижению

прочности и адгезионно-деформационных свойств торкрет-систем. Проблему пытаются решить при помощи увеличения расхода цемента. Так, нормами рекомендуется использовать цементно-песчаное отношение 1:3–1:4, на практике же оно доходит до 1:1,5.

В процессе нанесения таких растворов способом торкретирования на ряде объектов Крайнего Севера возникают значительные проблемы:

— *Нарушение технологии приготовления сухой смеси.* Применение влажного песка приводит к тому, что цемент гидратирует и смесь через 5–10 ч полностью теряет свои свойства. При использовании лежалой смеси прочность на сжатие в 2 раза меньше требуемой.

— *При нанесении торкрета происходит отскок заполнителя от поверхности.* Нормами допустимо до 20–25 % отскока, на практике отскок значительно превышает это значение (рис. 1, 2). Проблему решают при помощи подбора гранулометрического состава зерен заполнителя. К тому же толщина набрызг-бетонной крепи в реальных условиях составляет 10–20 мм при требуемой минимальной толщине 30 мм.

— *Жизнеспособность торкрет-раствора.* Нормируемая жизнеспособность торкрет-растворной смеси составляет 3 ч, поэтому рекомендуется ее приготовление непосредственно на рабочем месте перед использованием. В условиях реального предприятия в районе Крайнего Севера это невыполнимо из-за дальности расстояний между предприятием и объектом, а завоз малых партий торкрета нерентабелен. В производственных условиях готовят крупные партии торкрет-раствора на смену. Качество



Рис. 1. Следы отскока торкрет-раствора



Рис. 2. Неоднородность сечения слоя торкрет-бетона, следы отскока и потеков на поверхности основания

формования и уплотнения систем очень низкое, наблюдаются пустоты, каверны и т.п. дефекты (рис. 3).

— *Текучесть торкрет-раствора с поверхности основания.* Это достаточно специфический фактор, так как в большинстве случаев многое зависит от квалификации персонала. Технологическими нормами рекомендуется во избежание подобных проблем за один прием укладывать слой торкрет-смеси толщиной 1,5–2 см. На практике за один проход укладываются слой торкрета толщиной 3–5 см, что приводит к образованию деформационных трещин с шириной раскрытия 1,5–3 мм (рис. 4).

В настоящее время для решения указанных проблем при изготовлении торкрет-растворов на предприятии Крайнего Севера используют добавку микрокремнезема, что связано с большими материальными затратами и дефицитом добавки. В данной работе проблему качества торкрет-систем предложено решить путем увеличения объема вяжущего теста за счет применения активной высококальциевой золы канского-ачинских бурых углей [3].

Химический состав высококальциевой золы: SiO_2 — 26,3; Al_2O_3 — 8,1; Fe_2O_3 — 14,9; CaO — 37,0; CaO_{cb} — 10,5; MgO — 5,0; SO_3 — 5,84; п.п.п. — 1,5 % по массе. Истинная плотность 2790 кг/м³; насыпная плотность 1250 кг/м³; остаток на сите 008 — 1,4 %. Зола обладает вяжущими свойствами: $M_o = 1,22$, $M_c = 1,14$; $K_k = 1,9$; нормальная густота — 0,3; сроки схватывания: начало — 60, конец — 110 мин; прочность при сжатии 15 МПа, равномерность изменения объема — выдерживает. По содержанию свободного оксида кальция (CaO_{cb}) зола не соответ-

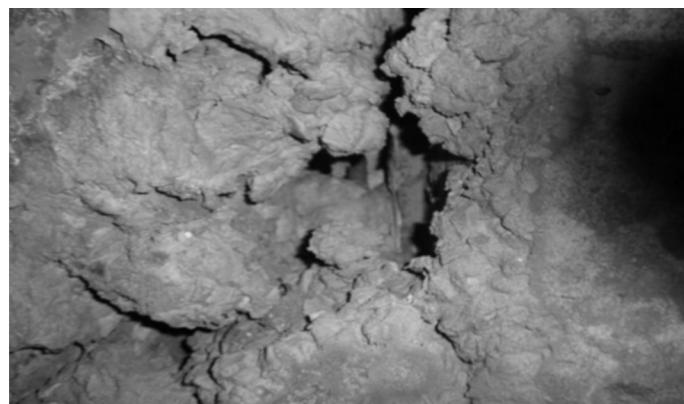


Рис. 3. Пустоты, каверны при формировании и уплотнении

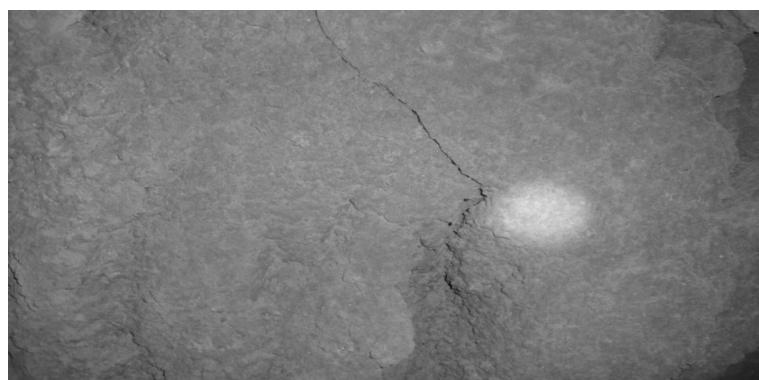


Рис. 4. Деформационные трещины

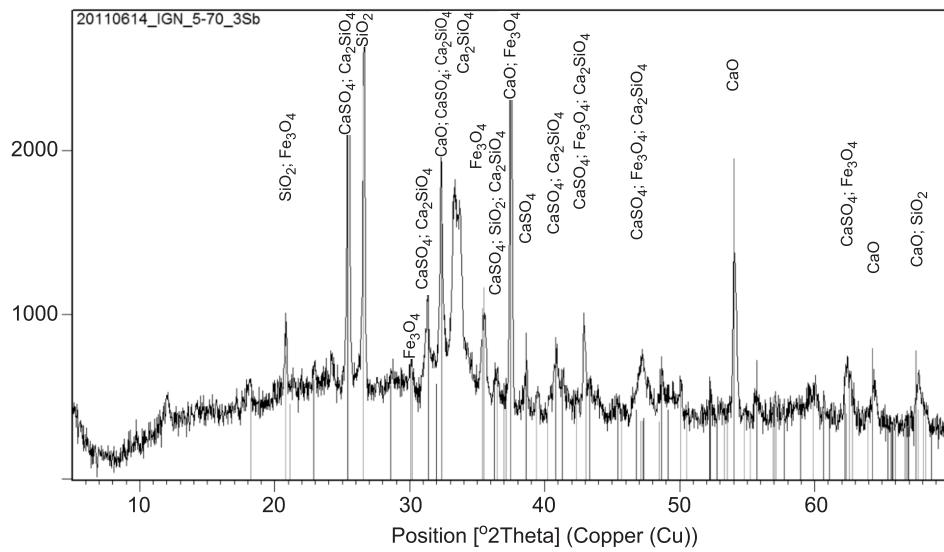


Рис. 5. Дифрактограмма высококальциевой золы

ствует стандартам. Методом рентгенофазового анализа (РФА) в золе были обнаружены кристаллические фазы: ангидрит CaSO_4 , кварц $\alpha\text{-SiO}_2$, CaO_{cb} , гематит Fe_3O_4 . Несколько сильных пиков свидетельствует о наличии еще одной кристаллической фазы, возможно $\beta\text{-CaOSiO}_2$. Результаты РФА приведены на рис. 5.

Для исследования свойств торкрет-систем была изготовлена серия образцов — цемент : песок состава 1:3; с добавлением в состав торкрет-раствора 20 % золы сверх массы цемента; с введением 40 и 50 % золы от массы цемента с одновременным уменьшением количества цемента на 20 % (см. таблицу).

С целью максимального приближения к естественным условиям на объекте песок увлажняли до 10 % по массе. После чего производили тщательное перемешивание с золой с последующим добавлением цемента. Для определения жизнеспособности сухих смесей вода в состав раствора добавлялась в три временных периода, соответствующих реальным производственным условиям на объекте строительства:

- I — при приготовлении сухой смеси;
- II — через 3 ч выдержки;
- III — через сутки выдержки сухой смеси.

Образцы разных условий изготовления твердели в нормальных условиях и были испытаны в возрасте 14 сут. Результаты приведены на рис. 6.

Отмечено, что с увеличением времени выдержки с момента приготовления увеличивалась водопотребность сухой смеси. В контрольном составе через сутки при смешивании с водой произошло расслоение торкрет-состава, что свидетельствует о произошедшей гидратации цемента. В золоцементных составах этот дефект отсутствовал.

Номера составов	Состав строительного раствора, масс. частей		
	цемент	высококальциевая зола	песок
1	1	—	3
2	1	0,2	2,8
3	0,8	0,4	2,8
4	0,8	0,5	2,7

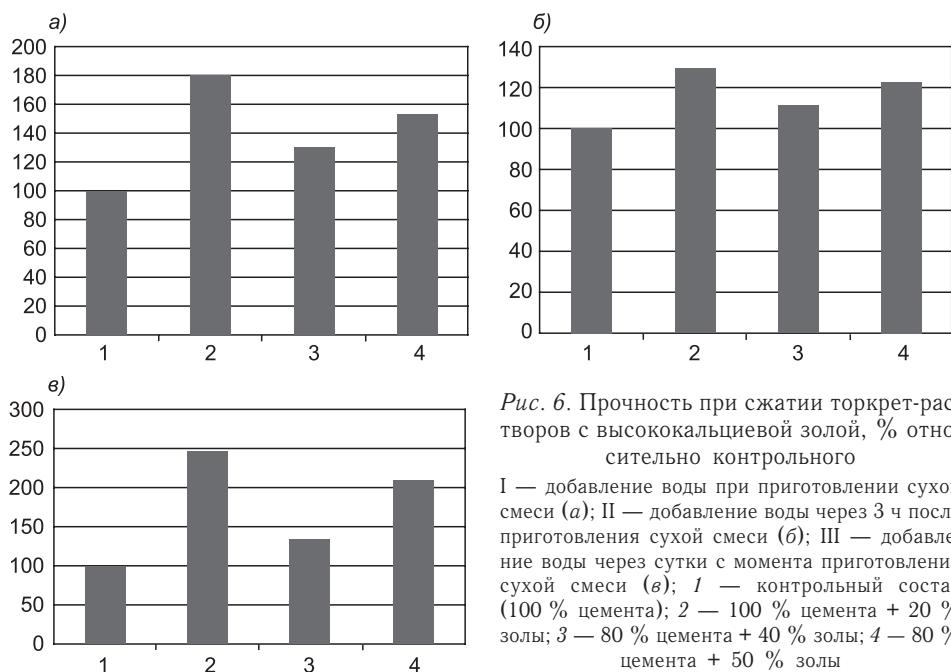


Рис. 6. Прочность при сжатии торкрет-растворов с высококальциевой золой, % относительно контрольного

I — добавление воды при приготовлении сухой смеси (а); II — добавление воды через 3 ч после приготовления сухой смеси (б); III — добавление воды через сутки с момента приготовления сухой смеси (в); 1 — контрольный состав (100 % цемента); 2 — 100 % цемента + 20 % золы; 3 — 80 % цемента + 40 % золы; 4 — 80 % цемента + 50 % золы

Также было отмечено повышение адгезионного сцепления покрывающего слоя и основания, уменьшение его осыпания (отскока) (рис. 7).

По результатам испытаний видно, что применение высококальциевой золы существенно улучшает прочностные и адгезионные характеристики как «свежих», так и «лежальных» торкрет-растворов.

При применении высококальциевой золы в составе торкрет- растворов:

1) уменьшается ранний отскок покрывающего слоя от поверхности основания за счет увеличения объема вяжущего (цементно-зольного теста);

2) снижается текучесть раствора за счет лучшего сцепления с основанием;

3) происходит увеличение прочности торкрет-растворов на 30–75 % сразу после приготовления;

4) отмечено увеличение прочности в 1,5 — 2 раза «лежальных» торкрет- растворов, т.е. сухих смесей, затворенных водой через 3 ч и через сутки хранения.

Полученные результаты позволяют рекомендовать добавку высококальциевых зол в количестве 20 % сверх массы цемента для повышения качества систем, образованных основанием и покрывающим слоем применительно к условиям Крайнего Севера.

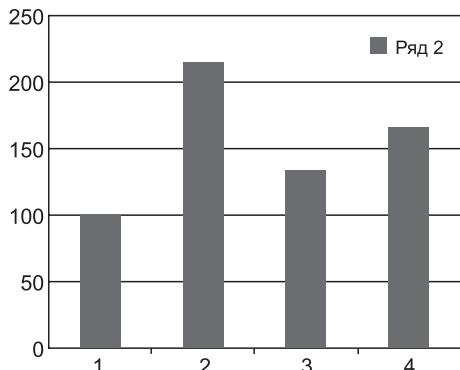


Рис. 7. Адгезионная прочность торкрет- раствора, % относительно контрольного
Условные обозначения те же, что и на рис. 6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пименов, А.Т. Условия для обеспечения монолитности систем, образованных основанием и покрывающим слоем [Текст] / А.Т. Пименов, О.А. Игнатова, В.В. Фоменко, А.А. Попков / / Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 4. — С. 100–103.

2. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений / ОАО «ЦНИИпромзданий». — М., 2007. — 31 с.
3. Игнатова, О.А. Особенности зол бурых Серебрельских углей [Текст] / О.А. Игнатьева, В.В. Фоменко // Междунар. сб. науч. тр. «Строительное материаловедение: состояние, тенденции и перспективы развития», НГАУ–ТГАСУ–РАЕ. — Новосибирск, 2011. — С. 77–81.

ИГНАТОВА Ольга Арнольдовна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: oa_ignatova@mai.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ПИМЕНОВ Александр Трофимович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ФОМЕНКО Владимир Владимирович, асп.; E-mail: VVFoma@rambler.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 04.02.13

Ignatova Olga Arnoldovna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: oa_ignatova@mai.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Pimenov Alexander Trofimovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Fomenko Vladimir Vladimirovich, post-graduate student; E-mail: VVFoma@rambler.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

IMPROVEMENT OF QUALITY OF THE SYSTEMS FORMED BY THE BASIS AND COVERING LAYER

The main advantages of device of spread concrete in comparison other receptions of concreting, and also the problems arising at use of sub-standard raw materials and violation of technology. Improvement of quality of spread concrete systems at the expense of use of the high-calcic ashes.

Key words: spread concrete-system, bad adhesion, high-calcic ashes.

REFERENCES

1. Pimenov, A.T. Conditions for maintenance of solidity of systems, formed by the basis and covering layer [Text] / A.T. Pimenov, O.A. Ignatova, V.V. Fomenko, A.A. Popkov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 4. — P. 100–103.
2. Guidance torkret-concrete application at construction, repair and restoration of construction designs of buildings and constructions / PLC «CSIPromzdany». — M., 2007. — 31 p.
3. Ignatova, O.A. Features of the evils of brown Serebryansky coals [Text] / O.A. Ignatova, V.V. Fomenko // International collection of the scientific works «Construction materials science: condition, tendencies and development prospects», NGAU–TGASU–RAE. — Novosibirsk, 2011. — P. 77–81.

УДК 691.55:666.9:620.18

**В.И. ЛОГАНИНА, С.Н. КИСЛИЦЫНА, Л.В. МАКАРОВА,
М.А. САДОВНИКОВА**

**РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КОМПОЗИЦИОННОГО ИЗВЕСТКОВОГО ВЯЖУЩЕГО
С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ**

Приведены сведения о закономерностях структурообразования известковых композиций с добавками синтезированных алюмосиликатов. Показано, что введение добавок алюмосиликатов способствует ускорению набора пластической прочности.

Ключевые слова: известковые сухие строительные смеси, синтез алюмосиликатов, структурообразование, пластическая прочность.

Традиционными материалами, на протяжении многих лет применявшимися для окрашивания фасадов, были известковые составы. Однако низкая эксплуатационная стойкость известковых покрытий приводит к увеличению межремонтных затрат. В связи с этим актуальным является разработка технологического решения, обеспечивающего повышение стойкости покрытий на основе известковых сухих смесей. Проведенные ранее исследования подтвердили эффективность повышения стойкости известковых покрытий на основе составов с применением синтетических гидросиликатов кальция [1–3].

В продолжение дальнейших исследований нами установлена возможность регулирования структурообразования известковых композиций введением синтезированных цеолитов [4]. Технология синтеза заключалась в осаждении алюмосиликатов из натриевого жидкого стекла сульфатом алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. При разработке технологии синтеза цеолитов исследовали влияние режима введения и количества сульфата алюминия, pH смеси, модуля жидкого стекла. Синтез цеолитов проводился по следующим режимам.

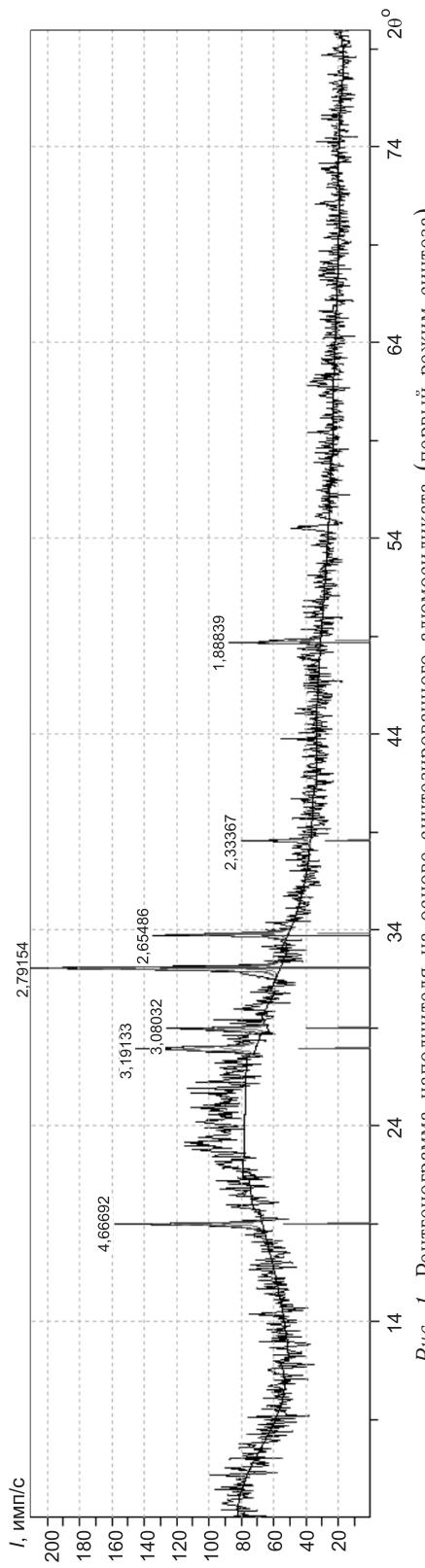
1. Введение в раствор сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ с pH = 3 жидкого стекла плотностью 1279 кг / м³ и высушивание осадка при температуре 100 °C.

2. Введение в раствор сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ с pH = 3 жидкого стекла плотностью 1279 кг / м³ с последующим доведением pH до 10 добавлением силиката натрия при интенсивном перемешивании и высушиванием осадка при температуре 100 °C.

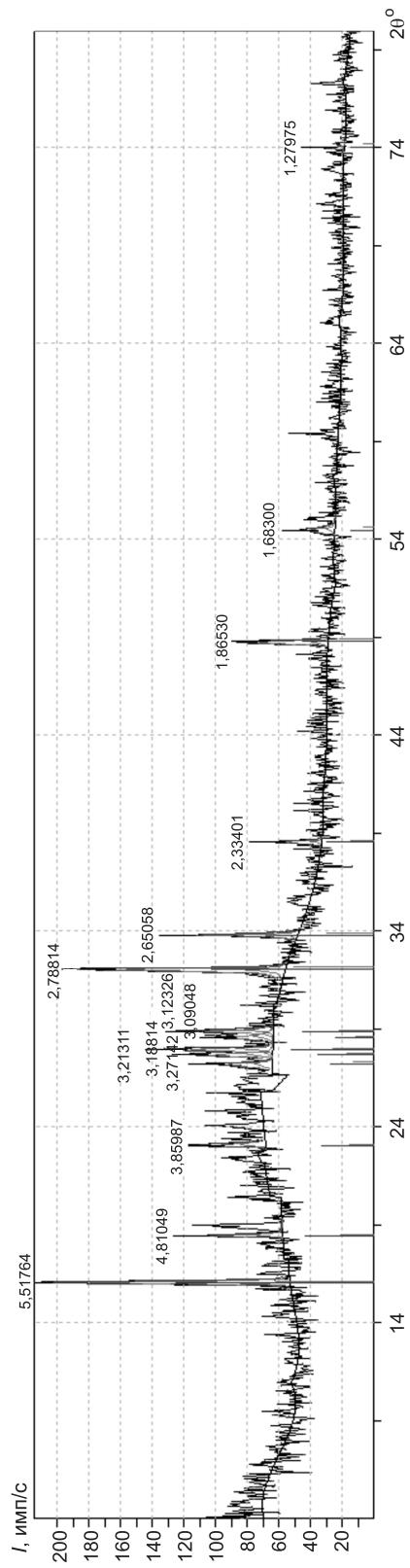
3. Введение в раствор сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ с pH = 3 жидкого стекла плотностью 1279 кг / м³ и доведение pH до 10 добавлением силиката натрия при интенсивном перемешивании и последующем промывании осадка до получения pH = 6 (фильтрата) и высушивании осадка при температуре 100 °C.

Методом рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что при введении в раствор сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ жидкого стекла (первый режим синтеза) образуются минералы группы цеолитов: натролит $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\text{H}_2\text{O}$ ($d = 4,6669$; $d = 3,1913$; $d = 3,0803$); анальцим $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\text{H}_2\text{O}$ ($d = 2,7915$; $d = 2,6549$; $d = 1,8684$) (рис. 1).

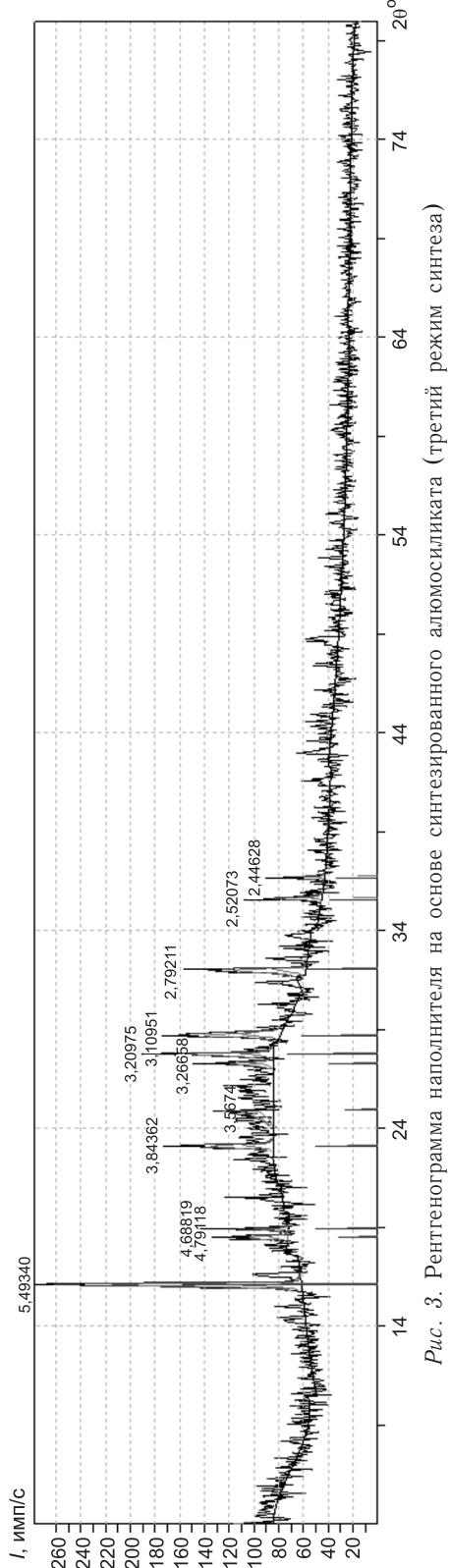
© Логанина В.И., Кислицына С.Н., Макарова Л.В., Садовникова М.А., 2013



Puc. 1. Рентгенограмма наполнителя на основе синтезированного алломосиликата (первый режим синтеза)



Puc. 2. Рентгенограмма наполнителя на основе синтезированного алломосиликата (второй режим синтеза)



При синтезе наполнителя по режиму 2 идентифицируются следующие соединения группы цеолитов: анальцим $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\text{H}_2\text{O}$ ($d = 5,5176$; $d = 4,8105$; $d = 2,7881$; $d = 2,6506$; $d = 1,8653$; $d = 2,6830$); морденит $\text{Na}(\text{AlSi}_5\text{O}_{12})3\text{H}_2\text{O}$ ($d = 3,8599$; $d = 3,2714$; $d = 3,2191$; $d = 3,1881$); натролит $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})2\text{H}_2\text{O}$ ($d = 3,1233$; $d = 3,0905$); цеолит ($d = 1,2797$) (рис. 2).

При промывании осадка до $\text{pH} = 6$ (режим 3) на рентгенограмме идентифицируются следующие соединения: анальцим $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\text{H}_2\text{O}$ ($d = 5,4934$; $d = 4,7912$; $d = 2,7921$; $d = 2,5207$; $d = 2,4483$); морденит $\text{Na}(\text{AlSi}_5\text{O}_{12})3\text{H}_2\text{O}$ ($d = 3,8436$; $d = 3,5674$; $d = 3,2666$; $d = 3,2097$); натролит $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})2\text{H}_2\text{O}$ ($d = 4,6882$; $d = 3,1095$) (рис. 3).

Различное соотношение минералов в синтезируемом цеолите изменяет его свойства как добавки к извести. При оценке свойств известковых смесей с добавкой цеолитов установлено, что введение синтезированных добавок приводит к ускорению набора пластической прочности.

На рис. 4–6 приведены зависимости изменения пластической прочности известкового теста при введении синтезируемой добавки. Для сравнения применялись добавки каолинита и метакаолинита. В качестве контрольного принимался состав известкового теста с водоизвестковым соотношением, равным $\text{В/И} = 1,0$. В работе применялась известь 2-го сорта с активностью 84 %.

Анализ пластограмм (см. рис. 4, 5) свидетельствует, что введение добавки цеолита, синтезируемого по второму режиму, вызывает более раннее структурообразование известкового теста. Так, при введении добавки в количестве 10 % от массы извести пластическая прочность в возрасте 10 ч с момента затворения составляет 0,024 МПа (см. рис. 5, кривая 5), а применение добавки, синтезируемой по первому режиму, — 0,006 МПа

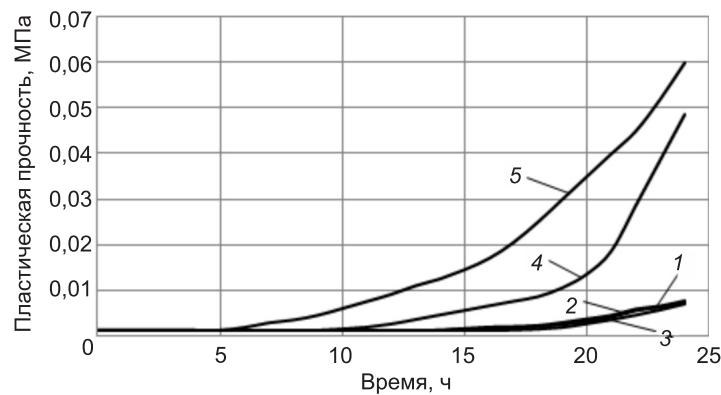


Рис. 4. Изменение пластической прочности известкового теста при введении добавки, синтезируемой по первому режиму
1 — контрольный состав (без добавок); 2, 3, 4, 5 — содержание добавки 1 %, 3, 5, 10 % от массы извести соответственно

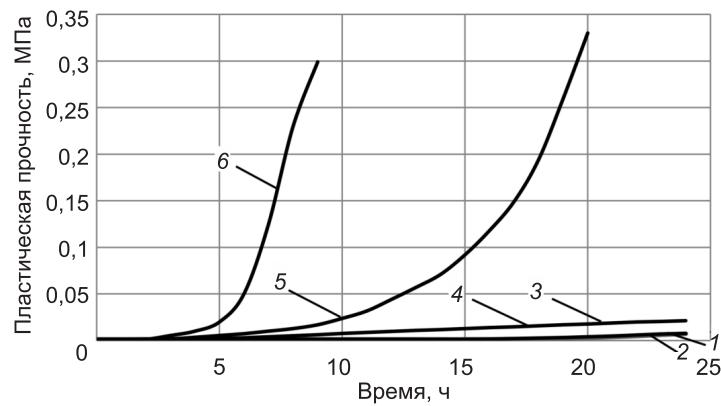


Рис. 5. Изменение пластической прочности известкового теста при введении добавки, синтезируемой по второму режиму
1–5 — условные обозначения те же, что и на рис. 4; 6 — содержание добавки 10 % от массы извести (третий режим синтеза)

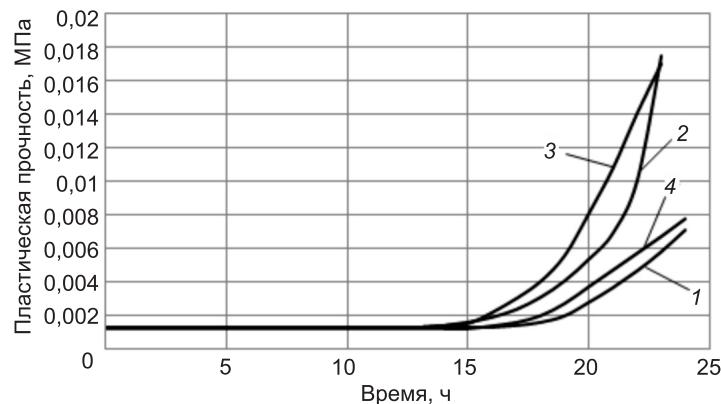


Рис. 6. Изменение пластической прочности известкового теста при введении добавки каолинита
Условные обозначения те же, что и на рис. 4

(см. рис. 4, кривая 5). Предельное напряжение сдвига контрольного состава составило 0,0012 МПа.

Большую скорость структурообразования вызывает применение добавки цеолита, синтезируемого по третьему режиму. Уже в возрасте 9 ч с момента затворения пластическая прочность составляет 0,29 МПа (см. рис. 5, кривая 6), в то время как применение добавки, синтезируемой по второму режиму, — 0,017 МПа (рис. 5, кривая 5).

Применение добавки каолинита и метакаолинита в количестве 3 % от массы извести приводит к более замедленному структурообразованию по сравнению с синтезированными цеолитами. В возрасте 10 ч с момента затворения пластическая прочность составила соответственно 0,0012 МПа. Рост пластической прочности наблюдается только спустя 16 ч с момента затворения (см. рис. 6).

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют об эффективности применения синтезируемых цеолитов в известковых композициях как добавки, регулирующей структурообразование. Известковые составы с применением синтетических цеолитов характеризуются хорошей удобоукладываемостью, отсутствием трещинообразования. Время высыхания до степени 5 составляет 15–20 мин, прочность сцепления с растворной подложкой — 0,6–1,2 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логанина, В.И. Влияние технологии синтеза силикатных наполнителей на свойства известковых и отделочных составов [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Папшева // Региональная архитектура и строительство. — 2011. — № 2. — С. 66–69.
2. Логанина, В.И. Свойства известковых композитов с силикатсодержащими наполнителями [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Строительные материалы. — 2012. — № 3. — С. 30–35.
3. Логанина, В.И. Повышение водостойкости покрытий на основе известковых отделочных составов [Текст] / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, С.Н. Кислицына, К.А. Сергеева // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 1 (637). — С. 41–47.
4. Жданов, С.П. Химия цеолитов [Текст] / С.П. Жданов, Е.П. Егорова. — М. : Наука, 1968.

ЛОГАНИНА Валентина Ивановна, д-р техн. наук, проф.; E-mail: loganin@mail.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
КИСЛИЦЫНА Светлана Николаевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: Kisl752@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
МАКАРОВА Людмила Викторовна, канд. техн. наук, доц.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

САДОВНИКОВА Мария Анатольевна, асп.; E-mail: adikaevka_01@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено 19.02.13

Loganina Valentina Ivanovna, doctor of technical sciences, professor; E-mail: loganin@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Kislitsyna Svetlana Nikolaevna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: Kisl752@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Makarova Lyudmila Viktorovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Sadovnikova Mariya Anatolieva, post-graduate student; E-mail: adikaevka_01@mail.ru, Penza State University of Architecture and Construction, Russia

RHEOLOGICAL CALCAREOUS ASTRINGENT PROPERTIES OF THE COMPOSITE WITH SYNTHETIC ZEOLITE

Provides information about the patterns of structure with the addition of lime compositions synthesized aluminosilicates. Shown that supplementation of aluminosilicates accelerates set plastic strength.

K e y w o r d s: lime dry mix, the synthesis of aluminosilicates, structure, plastic strength.

REFERENCES

1. Loganina, V.I. Influence of the synthesis technology of silicate fillers on properties of lime and finishing compositions [Text] / V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Papsheva // Regional architecture and engineering. — 2011. — N 2. — P. 66–69.
 2. Loganina, V.I. Properties of lime silicate composites with fillers [Text] / V.I. Loganina, L.V. Makarova, K.A. Sergeeva // Building materials. — 2012. — N 3. — P. 30–35.
 3. Loganina, V.I. Increase the water resistance of coatings based on lime finishing compositions [Text] / V.I. Loganina, L.V. Makarova, S.N. Kislytsyna, K.A. Sergeeva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 1 (637). — P. 41–47.
 4. Zhdanov, S.P. Himiya tseolitov [Text] / S.P. Zhdanov, E.P. Egorova. — M. : Science, 1968.
-

УДК 678.049

П.И. ЮХНЕВСКИЙ

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК-ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ГИДРОСИЛИКАТНОГО ГЕЛЯ

Приведены компьютерные модели структуры гидросиликатного геля C-S-H без добавок и с добавками-пластификаторами. Показано, что химические добавки выталкивают межслоевую воду, что влияет на деформационные свойства бетонов. Одновременно добавки уменьшают размер кристаллитов гидросиликатного геля.

Ключевые слова: гель C-S-H, добавки-пластификаторы, размеры кристаллитов.

Известно, что добавки-пластификаторы влияют не только на механические свойства бетонов, но и на деформационные. Например, легкие фракции суперпластификатора С-З существенно повышают ползучесть бетонов¹. При повышении прочности бетона пластификаторы зачастую снижают его модуль упругости (по сравнению с бетоном такого же класса без добавок) [1]. Кроме того, неясно, как распределяется добавка-пластификатор в гидратированном цементном камне. Представляет интерес определение влияния добавок-пластификаторов на структуру геля C-S-H.

Подобного рода информацию позволяют получить методики квантово-химического моделирования. Методом компьютерного моделирования (GCMC) получена модель структуры 1.4 Å тоберморита². При этом установлена взаимосвязь между химическим составом и свойствами (плотностью) геля C-S-H. В равновесии адсорбированная вода увеличивает плотность до 2,56 г / см³, что близко к экспериментальному значению, определенному с помощью рассеяния нейtronов (2,6 см³). Измеренные значения модуля упругости показывают, что межслоевая вода ведет себя как часть твердого тела, повышая модуль упругости.

При удалении воды из капилляров возникает равнодействующее сжимающее напряжение. Удаление воды из межслоевого пространства влияет на соединение частиц или слоев, что по терминологии авторов³ приводит глобулы к краху, а при удалении поровой воды листы C-S-H претерпевают изменения формы и ориентации по отношению к ближайшим соседям. При действии напряжений на гидратированный C-S-H гель в области межслоя происходит сдвиг молекул воды; локализация напряжения происходит в форме скольжения, облегченного смазочным действием молекул воды. В отсутствие воды релаксация напряжений проявляется в виде необратимой деформации. Присутствие воды, с одной сто-

¹ Вовк А.И. О качестве нафталинформальдегидных суперпластификаторов // Технологии бетонов. 2008. № 2. С. 18–19.

² Pellenq R.J.-M., Kushima A., Shahsavari R., Van Vliet K.J., Buehler M.J., Yip S., Ulm F.J. A realistic molecular model of cement hydrates // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2009. Vol. 106. Issue 38. P. 16102–16107.

³ Jennings H.M. Refinements to colloid model of C-S-H in Cement: CM-II // Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38. P. 275–289.

роны, понижает прочность структуры, а с другой — придает ей упругие свойства.

Ранее [2] выполнены неэмпирические квантово-химические расчеты взаимодействия молекул воды и пластификатора — полиметиленнафталинсульфоната натрия (добавка С-3) с поверхностью алита. Энергия связывания добавки с поверхностью алита составила 540 кДж / моль на одну функциональную группу, что существенно выше аналогичных величин для двух молекул воды (190 кДж / моль для одной молекулы воды), т.е. добавка С-3 значительно прочнее связывается с поверхностью алита, чем молекулы воды, и способна вытеснить последние с поверхности.

Для понимания упрочняющего действия добавок-пластификаторов на структуру цементного камня в бетоне, кроме изучения механизма пластификации, важным является изучение механизма кристаллообразования и изменение фазового состава. В связи с этим становится актуальным вопрос о влиянии добавок на дисперсно-кристаллитную структуру цементного камня, о размерах частиц.

Для моделирования взаимодействия добавок-пластификаторов с C-S-H был построен молекулярный фрагмент тоберморита из кристаллографических данных⁴. Фрагмент включал 335 атомов и по сравнению со стехиометрическим составом трехсиликата кальция содержал недостаток кальция. То есть граничные атомы кальция заменялись на атомы водорода — оборванные валентности замыкались атомами водорода или гидроксильными группами. В качестве пластификаторов применены полиметиленнафталинсульфонат натрия (добавка С-3) и нитронат смолы ДЭГ-1 (добавка ПО-1), молекулярные модели которых приведены ранее [3].

Расчеты⁵ выполнены с помощью программного комплекса MOPAC 2012 с использованием полуэмпирического метода PM7⁶.⁷ Проводилась полная оптимизация геометрии молекул добавок. Геометрия фрагмента тоберморита являлась фиксированной.

Для определения влияния добавок на кристаллическую структуру C-S-H использован метод анализа уширений рентгеновских дифракционных пиков. Рентгенодифракционные исследования гидратированного C₃S выполнены на автоматизированном дифрактометре ДРОН-7 (НПП «Буревестник», г. Санкт-Петербург) в излучении CuK_α (длина волны 0,154 нм) при условиях фокусировки по Брэггу–Брентано 0 — 2θ (2θ — брэгговский угол)⁸. Значения тока и напряжения на рентгеновской трубке составляли 20 мА и 40 кВ соответственно. Для обработки экспериментальных результатов использовался программный пакет поддержки эксперимента PDWin (ТОО «Эталон ПТЦ»). Идентификация кристаллических фаз проводилась по картотеке JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

⁴ Richardson I.G. The calcium silicate hydrates // Cement and Concrete Research. 2008, Vol. 38. P. 137–158.

⁵ Расчеты проведены в институте физико-органической химии НАН Республики Беларусь при участии д-ра хим. наук В.М. Зеленковского.

⁶ MOPAC2012, James J.P. Stewart, Stewart Computational Chemistry, Version 12.290W web: [HTTP://OpenMOPAC.net](http://OpenMOPAC.net)

⁷ Stewart J.J.P. Optimization of Parameters for Semiempirical Methods V: Modification of NDDO Approximations and Application to 70 Elements. J. Mol. Mod., 13. P. 1173–1213.

⁸ Дифрактограммы выполнены в НИЛ физической химии силикатов научно-исследовательского и проектно-производственного республиканского унитарного предприятия «Институт НИИСМ».

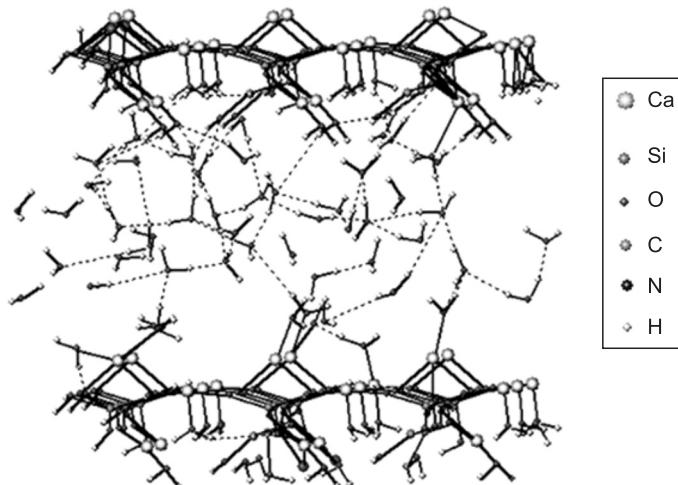


Рис. 1. Модель фрагмента 1.4 тоберморита со связанной водой

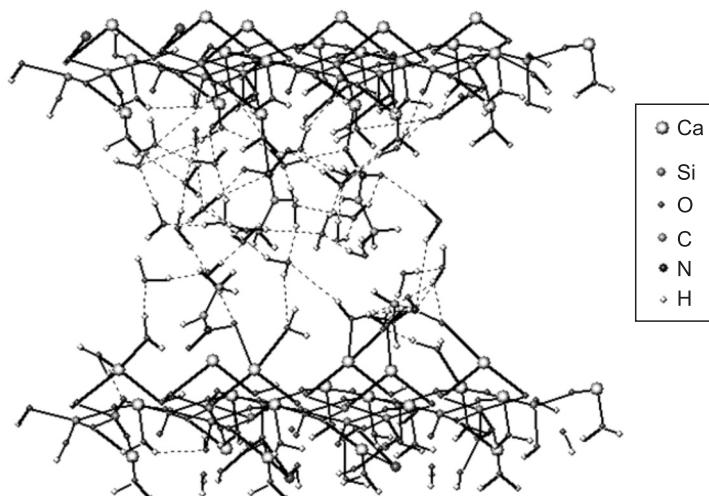


Рис. 2. Модель фрагмента 1.4 тоберморита со связанной водой и добавкой ПО-1

Трехкальциевый силикат затворяли водой при $B/C = 1,0$ и водой с добавкой суперпластификатора С-3 в количестве 1 % от массы трехкальциевого силиката. Образцы твердели 28 сут в нормально-влажностных условиях, затем их высушивали на воздухе при температуре 20–25 °C, размывали в агатовой ступке и пробу просеивали через сито с сеткой № 008.

Расчет размеров кристаллитов производили по формуле Шеррера⁹

$$D = \frac{\lambda \cdot 180}{\pi \cdot \beta \cdot \cos \theta},$$

где λ — длина волны рентгеновского излучения; β — полуширина пика на рентгенограмме, рад; θ — угол дифракции.

Модель фрагмента тоберморита с водой приведена на рис. 1, а с водой и добавками — на рис. 2, 3; дифрактометрические характеристики проб гидросиликата кальция приведены в таблице.

⁹ Горелик С.С., Скаков Ю.А., Растворгувев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., доп. и перераб. М.: МИСИС, 1994. 328 с.

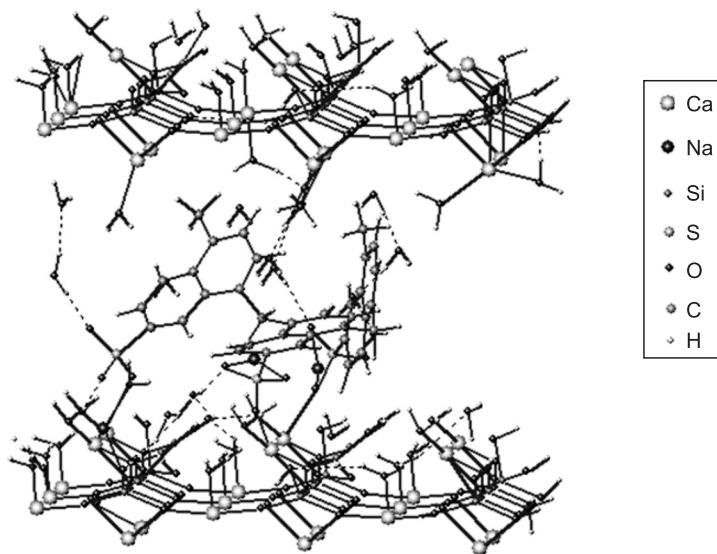


Рис. 3. Модель фрагмента 1.4 тоберморита со связанный водой и добавкой С-3

Вода в модели 1.4 Å тоберморита адсорбируется не только в областях межслоя, но также и внутри слоя вокруг атомов кремнезема (см. рис. 1). В итоге примерно 60 молекул воды распределяются на двух пластинах с 19 атомами кремния. Молекулы воды в межслой связаны между собой водородными связями (энергия связи 10–20 кДж/моль).

Добавки-пластификаторы — нитронат на основе смолы ДЭГ-1 (добавка ПО-1) и суперпластификатор С-3 распределяются в межслой тоберморита; при этом ионогенными функциональными группами добавки образуют ионные связи с кальцием, а остальной частью молекулы — водородные связи с молекулами воды. В связи с большим размером молекулы добавка С-3 способна закрепляться одновременно на двух сторонах межслоя (см. рис. 3). Так как энергия взаимодействия функциональных групп добавок более чем в два раза превышает энергию взаимодействия воды с кальцием (для $\text{NO}_2^- \Delta H_f = 474$ кДж/моль, для $\text{SO}_3^- = 415$ кДж/моль, а для воды $\Delta H_f = 160\text{--}190$ кДж/моль), молекулы добавок выталкивают воду из межслоя тоберморита: для ПО-1 одна группа NO_2^- выталкивает

Дифрактометрические характеристики гидратированного C_3S

Количество добавки	Экспериментальные данные				
	интенсивность максимума пика Альфа 1, I_{\max}	положение максимума пика Альфа 1, 2, θ_{\max}	межплоскостное расстояние d , нм	полуширина w	размер кристаллитов, нм
Без добавки	22,9	26,17	0,340	0,449	20,16
	43,8	29,33	0,304	0,274	33,21
	18,8	31,99	0,279	0,140	—
	15,0	50,04	0,182	0,140	—
1 % С-3	18,8	26,07	0,341	0,580	15,63
	48,9	29,35	0,304	0,515	17,67
	38,1	32,00	0,279	0,140	—
	11,9	50,08	0,182	0,140	—

четыре молекулы воды, а для С-3 — на одно мономерное звено вытесняется примерно 30 молекул воды. Поскольку, как было отмечено выше, вода в межслое обеспечивает упругие свойства гидратированного цемента, становится понятен факт снижения модуля упругости и повышения ползучести бетона при введении добавок олигомеров. С увеличением размера молекулы пластификатора затрудняется ее проникновение в межслой и, соответственно, снижается влияние на деформационные свойства бетона.

Как известно⁴, в процессе гидратации C_3S образуются гидросиликаты группы С-S-H (I) типа 1,4 нм тоберморита и С-S-H (II) типа женнита. Для С-S-H (I) характерными являются пики с $d = 0,304; 0,28; 0,182$ нм, а для С-S-H (II) — $d = 0,340; 0,283; 0,183$ нм и др.

В образце с добавкой возрастает количество CSH (I) — линии с $d = 0,304$ и $0,28$ и уменьшается содержание CSH (II) — линия с $d = 0,340$. Одновременно с введением добавки С-3 происходит уменьшение блоков мозаики с 20–33 до 15–17 нм, что приводит к значительному повышению прочности твердеющей структуры. Чем меньше блоки мозаики, тем выше их химическая активность, и тем более когерентно они связаны с другими фазами структуры, и тем выше прочность. Когда блоки мозаики сильно разориентированы, при приложении внешней нагрузки происходит интерференция сдвиговых перемещений дислокаций и их затухание. Такая интерференция упрочняет структуру.

Выводы. Так как энергия связи активных групп добавок с поверхностью трехкальциевого силиката существенно выше энергии связи молекул воды, последние вытесняются с поверхности цементного минерала, что способствует пластификации системы.

В процессе гидратации алита и образования геля С-S-H добавки-пластификаторы закрепляются и в межслое геля, выталкивают оттуда воду, что влияет на деформационные свойства бетона.

Введение в цементные материалы атомных примесей в виде химических добавок способствует образованию дефектов в кристаллических решетках гидросиликатов кальция и легированию структуры, что приводит к затруднению движения дислокаций и повышению прочности композита.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахвердов, И.Н. Прочностные и деформативные свойства быстротвердеющего модифицированного бетона [Текст] /И.Н. Ахвердов и др. // Строительство и архитектура Белоруссии. —1982. — № 1. — С. 33–34.
2. Юхневский, П.И. Квантово-химическое моделирование взаимодействия полиметиленафтилинсульфонатов натрия (добавка С-3) с гидратированной поверхностью алита (C_3S) [Текст] / П.И. Юхневский, В.М. Зеленковский, В.С. Солдатов // Технологии бетонов. — 2010. — № 5–6. — С. 31–33.
3. Юхневский, П.И. О взаимосвязи характеристик молекулярной структуры химических добавок пластификаторов с их эффективностью в цементных композициях [Текст] /П.И. Юхневский // Наука и техника. — 2012. — № 1. — С. 48–52.

ЮХНЕВСКИЙ Павел Иванович, канд. хим. наук, доц.; E-mail: sawa1950@mail.ru
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика
Беларусь

Получено 19.02.13

Yuhnevskiy Pavel Ivanovich, candidate of chemical sciences, assistant professor;
E-mail: sawa1950@mail.ru, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

EFFECT OF PLASTICIZER CHEMICAL ADDITIVES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HYDROSILICATE GEL

Given computer model of the structure hydrosilicate C-S-H gel without additives and with the addition of plasticizers. It was shown that chemical additives interlayer water ejected, which affects the deformation properties of concrete. Simultaneously additives reduce crystallite size hydrosilicate gel.

Key words: gel C-S-H, additives, plasticizers, crystallite size.

REFERENCES

1. Akhverdov, I.N. The strength and deformation properties quick-modified concrete [Text] / I.N. Akhverdov etc. // Construction and Architecture of Belarus. — 1982. — N 1. — P. 33–34.
 2. Yuhnevskiy, P.I. Quantum-chemical modeling of the interaction of sodium polymethenaphthalenesulphate (additive C-3) from the surface of the hydrated alite (C_3S) [Text] / P.I. Yuhnevskiy, V.M. Zelenkovskiy, V.S. Soldatov // Technology of concrete. — 2010. — N 5–6. — P. 31–33.
 3. Yuhnevskiy, P.I. The relationship between the characteristics of the molecular structure of chemical additives plasticizers to their efficiency in cement compositions [Text] / P.I. Yuhnevskiy // Science and technology. — 2012. — N 1. — P. 48–52.
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.002.51

В.Н. АНФЕРОВ, О.И. НЕДАВНИЙ, С.М. КУЗНЕЦОВ, Н.М. КАНДАУРОВА

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ БУЛЬДОЗЕРОВ

Предложена модель оценки организационно-технологической надежности работы бульдозеров. С помощью этой модели можно оценить эффективность и организационно-технологическую надежность работы бульдозеров и других строительных машин на любом объекте.

Ключевые слова: организационно-технологическая надежность, организационно-технологические риски, строительные машины.

Существующая система оптимизации парков, комплексов и комплектов строительных машин не предусматривает оценку организационно-технологической надежности (ОТН) строительства. Под организационно-технологической надежностью понимается вероятность достижения проектных (рекомендуемых) параметров механизированного строительного производства. В основу разработки принципа ОТН заложен вероятностно-статистический подход. При детальном изучении специфики работы системы машин в строительном производстве, многообразных, многочисленных организационно-технологических отклонений и других дестабилизирующих производство факторов, приводящих к изменению параметров работы специализированных по видам работ комплектов машин, а также принципов взаимодействия этих факторов с имеющимися сбоями, позволяет рассчитать ОТН строительства.

Проведенный профессорами В.Б. Пермяковым, В.Н. Ивановым, А.А. Гусаковым и другими экспертный анализ показателя ОТН календарного плана строительства показывает, что наиболее рациональными значениями ОТН продолжительности производства работ являются значения в диапазоне от 0,5 до 0,7. Превышение этих значений, приближение ОТН к единице, свидетельствует о так называемой избыточной надежности, т.е. перерасходе вкладываемых в обеспечение надежности строительства ресурсов. Оценка ОТН дает возможность оценивать сформированные календарные планы строительства объектов не только с точки зрения качества организационно-технологических характеристик, но и с точки зрения надежности их достижения [1].

Производительность комплекса машин (комплектов и отдельных машин) для строительства объектов по [2] должна соответствовать условию

© Анферов В.Н., Недавний О.И., Кузнецов С.М., Кандаурова Н.М., 2013

$$\Pi_k \geq \Pi_t - r_k^n, \quad (1)$$

где Π_t — требуемая производительность комплекса машин за планируемое время выполнения работ; r_k^n — риск использования комплекса машин по производительности.

Если условие (1) выполняется, то комплекс машин рекомендуется к применению для строительства объекта и разрабатываются мероприятия по его эффективному использованию. Если условие (1) не выполняется, то по формуле (2) вычисляем требуемую производительность комплекса машин

$$\Pi_t = \Pi_k + r_k^n. \quad (2)$$

В результате будет сформирован комплекс с минимальным риском по производительности.

Критерием оценки организационно-технологической надежности работы строительных машин может быть любой показатель работы строительных машин, находящийся в выборке (производительность, продолжительность работ, энергоемкость, стоимость единицы продукции, прибыль и т.д.). Основным показателем для оценки эффективности работы комплексов машин авторы предлагают считать себестоимость производства работ.

Одним из основных факторов ОТН работы строительных машин является коэффициент использования их по времени. Во всех нормативных документах приводятся устаревшие (25-летней давности) данные по коэффициентам использования машин в течение рабочего времени, которые требуют обновления, так как машины постоянно совершенствуются. Для оценки организационно-технологической надежности работы строительных машин в СГУПСе создана база данных по результатам натурных испытаний земснарядов, бульдозеров и трубоукладчиков. Для доказательства обоснованности значений базы данных по результатам натурных испытаний проводились два этапа проверки (очистки):

— логическая — при которой по замечаниям наблюдателя из рядов исключаются значения, не относящиеся к нормируемому процессу;

— математическая — при которой методами математической статистики определяют правомерность отклонений.

После формирования выборки в соответствии с ГОСТ 8.207–76 определяется ее принадлежность закону нормального распределения и строится кривая нормального распределения:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где y — ордината кривой распределения;

x — значение изучаемого признака (производительность земснаряда);

\bar{x} — средняя арифметическая ряда;

σ — среднее квадратическое отклонение изучаемого признака;

π — постоянное число;

e — основание натурального логарифма.

Известно, что если площадь, ограниченную кривой нормального распределения, принять за 1 или 100 %, то можно рассчитать площадь, заключенную между кривой и любыми двумя ординатами. Воспользовавшись формулой (3), можно рассчитать организационно-технологический

риск (в процентах) недостижения рассматриваемым комплектом производительности x_m

$$\text{OTP} = \frac{100}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{x_m} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4)$$

Тогда рассчитаем (в процентах) и организационно-технологическую надежность достижения рассматриваемым комплектом производительности x_m

$$\text{OTH} = 100 - \text{OTP}. \quad (5)$$

В базе данных хранится информация об использовании бульдозеров по времени по месяцам и годам. В результате отработки статистической информации (при ежемесячных данных по работе бульдозеров) с помощью программы «Sample» получена следующая информация (табл. 1).

Таблица 1
Результаты обработки коэффициентов использования бульдозеров по времени при ежемесячном анализе их работы

Показатель	Величина
Входные данные	
Количество опытов, шт.	872
Количество степеней свободы, шт.	3
Количество диапазонов, шт.	0
Уровень значимости	0,05
Фактор	X01
Выходные данные	
Минимальное значение фактора	45,3400000000
Максимальное значение фактора	84,3000000000
Выборочное среднее значение фактора	65,9703669725
Выборочное стандартное отклонение фактора	7,0876871594
Стандартное отклонение фактора	7,0917546990
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,2401571177
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,3640378684
Эмпирическая дисперсия выборки	50,2929847102
Коэффициент вариации	0,7623572070
Вычисленное значение критерия Пирсона	7,8974116172
Табличное значение критерия Пирсона	15,4923712280
Количество интервалов	11

Средневзвешенная величина коэффициента использования бульдозеров по времени составила 65,97 %, стандартное отклонение — 7,09 % и вычисленное значение критерия Пирсона (7,89) меньше табличного значения (15,49), значит выборка подчиняется закону нормального распределения. Кривая нормального распределения коэффициентов использования бульдозеров по времени приведена на рис. 1. Результаты обработки ежегодной статистической информации по использованию бульдозеров приведены в табл. 2. Средневзвешенная величина коэффициента использования бульдозеров по времени составила 65,65 %, стандартное отклонение — 3,17 % и вычисленное значение критерия Пирсона (1,36)

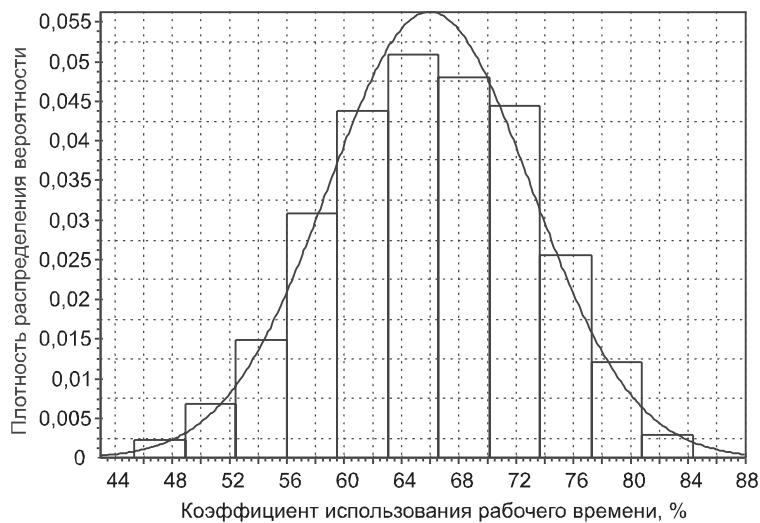


Рис. 1. Плотность распределения вероятностей коэффициента использования бульдозеров при ежемесячном анализе их работы

Таблица 2

Результаты обработки коэффициентов использования бульдозеров по времени при ежегодном анализе их работы

Показатель	Величина
Входные данные	
Количество опытов, шт.	145
Количество степеней свободы, шт.	3
Количество диапазонов, шт.	0
Уровень значимости	0,05
Фактор	X01
Выходные данные	
Минимальное значение фактора	58,5300000000
Максимальное значение фактора	73,8700000000
Выборочное среднее значение фактора	65,6464137931
Выборочное стандартное отклонение фактора	3,1616489970
Стандартное отклонение фактора	3,1726079519
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,2634707498
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,4013482756
Эмпирическая дисперсия выборки	10,0654412165
Коэффициент вариации	0,1533281201
Вычисленное значение критерия Пирсона	1,3614678568
Табличное значение критерия Пирсона	11,0443125000
Количество интервалов	8

меньше табличного значения (11,04), значит выборка подчиняется закону нормального распределения. Кривая нормального распределения коэффициентов использования бульдозеров по времени при ежегодном анализе их работы приведена на рис. 2.

Анализ работы бульдозеров показал, что коэффициент их использования по времени в рассматриваемой организации приблизительно 66 %, а отклонение средневзвешенного коэффициента использования по време-

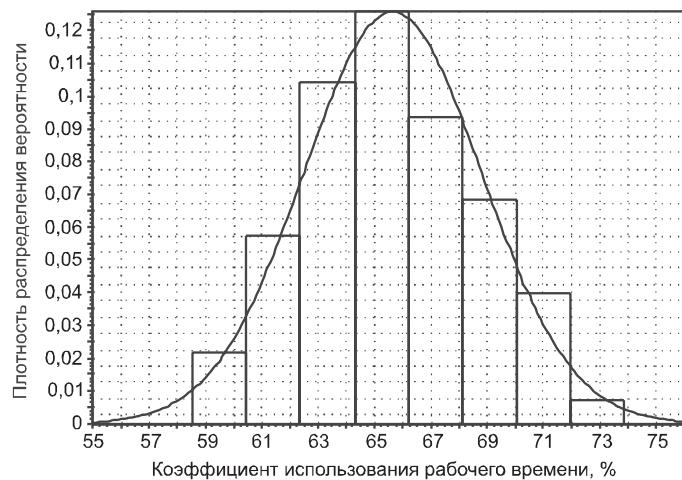


Рис. 2. Плотность распределения вероятностей коэффициента использования бульдозеров при ежегодном анализе их работы

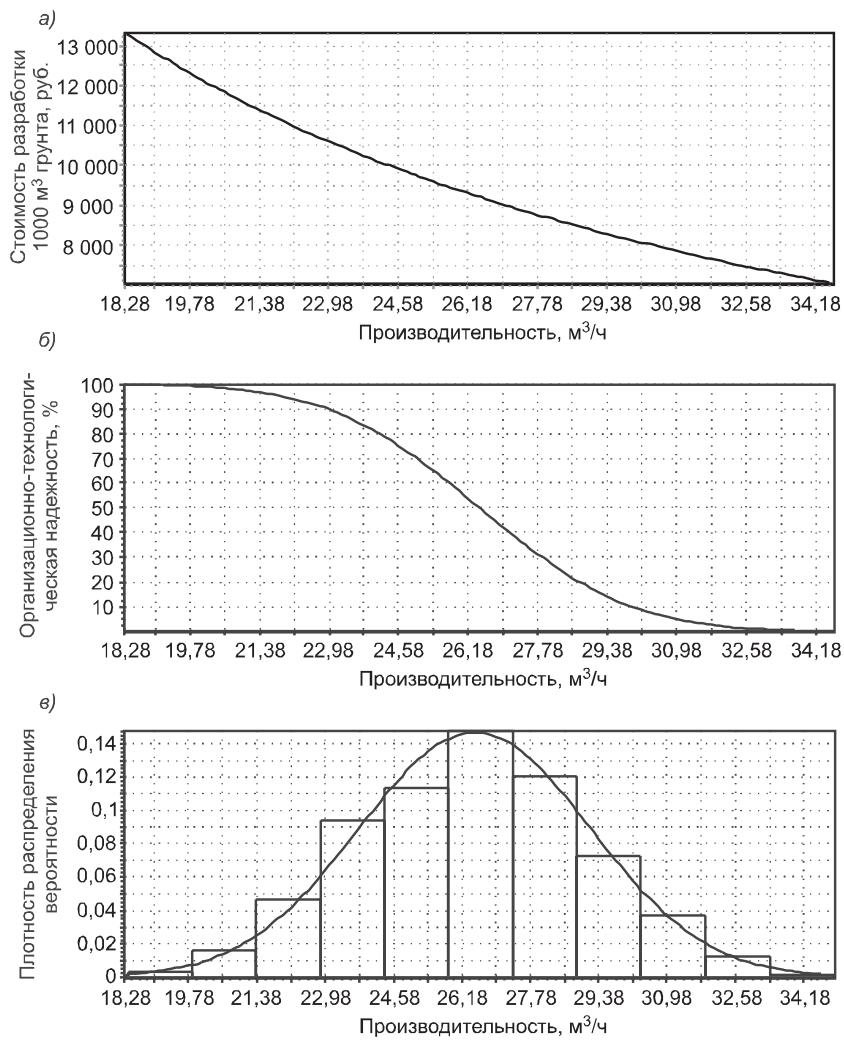


Рис. 3. Зависимости стоимости (а), организационно-технологической надежности (б) плотности распределения вероятностей от производительности при работе бульдозеров на базе тракторов Т-130 на устройстве первичного обвалования из грунтов второй категории при производстве работ способом гидромеханизации

Таблица 3
Характеристики многофакторных математических моделей

Показатель	Модель $K_{\text{вм}}$	Модель $K_{\text{вг}}$
Доля объясненной вариации, %	99,967	99,829
Коэффициент множественной корреляции	0,99983	0,99914
Средний отклик	65,97	65,65
Стандартная ошибка в % от среднего отклика	0,2	0,2
Стандартная ошибка	0,1280	0,1315
Общий F -критерий регрессии	967,32	837,13
Табличное значение F -критерия	3,83	3,89

ни при ежегодной отчетности составляет ± 10 и ± 21 % при отчетности ежемесячной. На рис. 3 приведены данные по работе бульдозеров на базе тракторов Т-130. По данным рис. 3 можно при заданной организационно-технологической надежности определить производительность бульдозера и стоимость разработки им 1000 м^3 грунта. Например, при ОТН = 60 % требуется определить производительность бульдозера. На рис. 3, б находим ОТН, равную 60 %, и соответствующую ей производительность машины $25,7 \text{ м}^3/\text{ч}$.

По данным натурных испытаний бульдозеров построены зависимости коэффициентов использования по времени от коэффициентов готовности при ежемесячном и ежегодном анализе. Определим коэффициент использования бульдозеров по времени при ежемесячном анализе

$$K_{\text{вм}} = -336,3 + 4,36K_r, \quad (6)$$

где K_r — коэффициент готовности бульдозеров.

Найдем коэффициент использования бульдозеров по времени при ежегодном анализе

$$K_{\text{вг}} = -336,4 + 4,36K_r. \quad (7)$$

Основные характеристики моделей приведены в табл. 3.

Зависимость коэффициента использования по времени от коэффициента готовности при ежемесячном анализе проиллюстрирована на рис. 4.

Расчет организационно-технологической надежности бульдозера (рис. 5) производится по формуле [3]

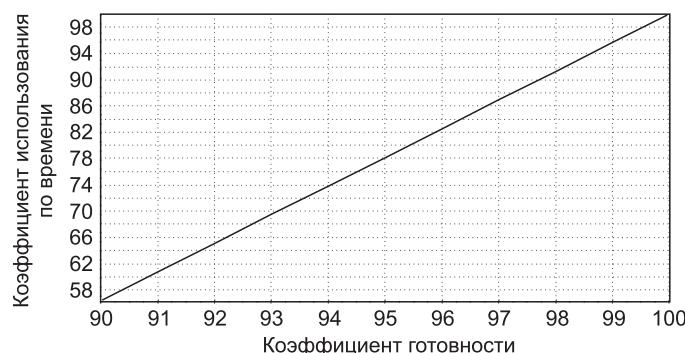
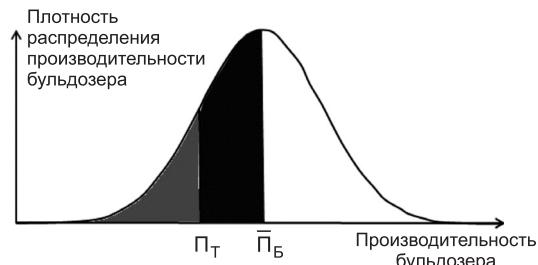


Рис. 4. Зависимость коэффициента использования по времени от коэффициента готовности

$$OTH = 100 - \frac{100}{\sigma_6^n \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{\Pi_t} e^{-\frac{(\Pi_6 - \bar{\Pi}_6)^2}{2\sigma_6^{n^2}}} d\Pi_6, \quad (8)$$

где Π_t — требуемая производительность бульдозера;
 Π_6 — значение производительности бульдозера;
 $\bar{\Pi}_6$ — средняя производительность бульдозера;
 σ_6^n — среднее квадратическое отклонение производительности бульдозера.

Авторами рекомендуется при оценке производительности строительных машин учитывать организационно-технологическую надежность их работы, что способствует повышению ОТН строительства, составлению более реальных проектов организаций строительства (ПОС), проектов производства работ (ППР) и календарных графиков производства строительно-монтажных работ.



Rис. 5. Плотность распределения производительности бульдозера

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусаков, А.А. Организационно-технологическая надежность строительства [Текст] / А.А. Гусаков, Н.И. Ильин. — М. : Стройиздат, 1984. — 169 с.
2. Исаков, А.Л. Оптимизация работы комплекса машин при строительстве объектов [Текст] / А.Л. Исаков, К.С. Кузнецова, С.М. Кузнецов // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 1. — С. 52–57.
3. Исаков, А.Л. Оптимизация работы комплекса машин [Текст] / А.Л. Исаков, К.С. Кузнецова, С.М. Кузнецов // Экономика ж. д. — 2013. — № 1.

*АНФЕРОВ Валерий Николаевич, д-р техн. наук, проф.
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
НЕДАВНИЙ Олег Иванович, д-р техн. наук, проф.*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет
КУЗНЕЦОВ Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доц.*

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
КАНДАУРОВА Надежда Михайловна, канд. техн. наук, доц.*

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено после доработки 29.02.13

Anferov Valery Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Siberian State University of Means of Communication, Novosibirsk, Russia

Nedavniy Oleg Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Kuznetsov Sergey Mihajlovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian State University of Means of Communication, Novosibirsk, Russia

Kandaurova Nadezhda Mihajlovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

ASSESSMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF OPERATION OF BULLDOZERS

Authors offer model of an estimation of organizational-technological reliability of work of bulldozers. By means of this model it is possible to estimate efficiency and

organizational-technological reliability of work of bulldozers and other building cars on any object.

K e y w o r d s: organizational-technological reliability, organizational-technological risks, building cars.

REFERENCES

1. G u s a k o v , A.A. Organizational-technological reliability of building [Text] / A.A. Gu-sakov, N.I. Ilyin. — M. : Stroyizdat, 1984. — 169 p.
 2. I s a k o v , A.L. Optimization of work of a complex of cars at construction of objects [Text] / A.L. Isakov, K.S. Kuznetsova, S.M. Kuznetsov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 1. — P. 52–57.
 3. I s a k o v , A.L. Optimization of work of a complex of cars [Text] / A.L. Isakov, K.S. Kuznetsova, S.M. Kuznetsov // Economy of the railways. — 2013. — N 1.
-

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.131:624.145.4.001.24

В.В. ДЕГТЯРЕВ-мл., Е.Е. ЕРШОВА

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В ОБЛАСТИ ЦИЛИНДРА, ИМИТИРУЮЩЕГО ТРУБОПРОВОД, ЛЕЖАЩИЙ НА ДНЕ НЕДЕФОРМИРУЕМОГО РУСЛА

Рассматривается численное моделирование установившегося движения водного потока в трехмерной постановке в русле-канале прямоугольного поперечного сечения и бесконечной длины с расположенным на дне канала цилиндром заданного диаметра d . Расположение цилиндра изменялось относительно дна канала от $-d/2$ до $2d$, с шагом $d/4$, что соответствует прикопанному, лежащему на дне и приподнятому относительно дна цилиндру.

Ключевые слова: установившееся движение, открытый поток, численное моделирование, граничное условие, обтекание трубопровода, поле скоростей.

Введение. При обеспечении надежного и безопасного функционирования трубопроводного транспорта наибольшие проблемы возникают при подводных переходах.

При строительстве такого перехода нарушаются естественные природные процессы, а сам он подвергается специфическим воздействиям, приводящим к аварийным ситуациям.

В связи с этим численное моделирование безнапорных водных потоков в недеформируемых и деформируемых руслах является актуальной проблемой для решения многочисленных задач речной гидравлики и гидротехники.

Основные уравнения и методы решения. Рассмотрим модель обтекания цилиндра, расположенного на дне прямоугольного бесконечного канала, перпендикулярно течению (рис. 1).

Здесь диаметр цилиндра d , ширина и глубина канала $l = 4d$, начальная скорость течения U_0 . Цилиндр помещен в центре канала.

Рассматриваемая модель может быть описана системой полных уравнений Навье–Стокса несжимаемого течения [1, 2]. В качестве характер-

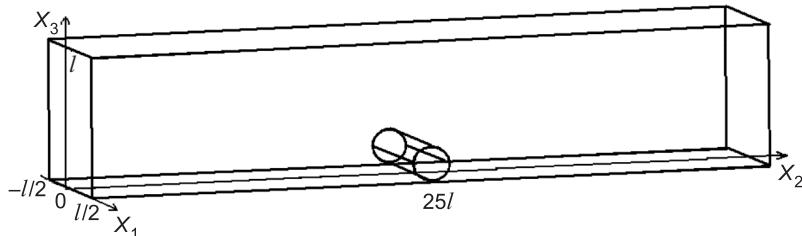


Рис. 1

ных величин для обезразмеривания выбраны начальная скорость течения U_0 , гидравлический радиус R , плотность ρ_0 и сформированные из них величины $\tau_0 = \frac{R}{U_0}$ и $p_0 = U_0^2 \rho_0$.

В безразмерных переменных система уравнений Навье–Стокса записывается следующим образом:

$$\operatorname{div} \bar{\mathbf{u}} = 0, \quad (1.1)$$

$$\frac{d\bar{\mathbf{u}}}{dt} = -\nabla \bar{\mathbf{p}} + \frac{1}{Re} \Delta \bar{\mathbf{u}}, \quad i=1,2,3, \quad (1.2)$$

где $\bar{\mathbf{u}} = (u_1, u_2, u_3)$ — вектор скорости, $Re = \frac{\rho_0 U_0 R}{\mu}$ — число Рейнольдса, μ — сдвиговая вязкость.

Для системы (1.1), (1.2) на дне канала и на поверхности цилиндра ставится условие прилипания, на передней и задней стенке канала — условия симметрии, на торцах канала — периодические условия, на верхней границе канала — свободный выход [3].

Начальные условия задаются следующим образом:

$$u_1|_{t=0} = u_3|_{t=0} = 0, \quad u_2|_{t=0} = 1, \quad p|_{t=0} = 1.$$

Разностная схема. Система уравнений (1.1), (1.2) с описанными выше граничными и начальными условиями решается численно с помощью явно-неявной конечно-разностной схемы Ковени–Яненко, учитывающей расщепление по физическим процессам и переменным. В операторном виде система (1) записывается следующим образом:

$$(s^n - s^{n-1})/\tau + L_h [\delta s^n + (1-\delta)s^{n-1}] = F_h^n. \quad (1.3)$$

Здесь $s^n = (u_{1ij}^n, u_{2ij}^n, u_{3ij}^n, p_{ij}^n)$ — сеточная вектор-функция решения на n -м временном слое; $h_1 = h_3 = h$, h — шаги пространственной сетки; τ — шаг по времени; δ — весовой параметр. Оператор L_h включает симметричные аппроксимации со вторым порядком первых и вторых пространственных производных по каждой пространственной координате. Оператор F_h^n рассматривается как вектор правых частей. По координате x_2 разностная сетка со сгущением к центру канала.

На нерегулярной сетке с шагом h по координатам x_1, x_3 и шагом h_2 по координате x_2 схема (1.3) аппроксимирует систему (1.1), (1.2) с порядком $O(\tau + h^2 + h_2^2)$ и является абсолютно устойчивой при весовом параметре $\delta \geq 1/2$ [4].

В расчетной области сетка содержала $16 \times 44 \times 20 = 14\,080$ узлов с шагом по пространственным координатам x_1, x_3 $h = 0,06$, по координате x_2 $h_2 = 0,06$ по краям канала и $h_2 = 0,013$ в центре канала и шагом по времени $\tau = 0,04$.

Рассматривалась задача развития потока вплоть до выхода решения на стационар. Выход на стационарное решение определялся из условия

$$|s^n - s^{n-1}| < 10^{-12}.$$

В результате установлено, что для выхода решения на стационар требовалось 6000 шагов по времени.

Обсуждение результатов. Рассмотрены изменения положения цилиндра относительно дна канала от $-d/2$ до $2d$, с шагом $d/4$, наиболее

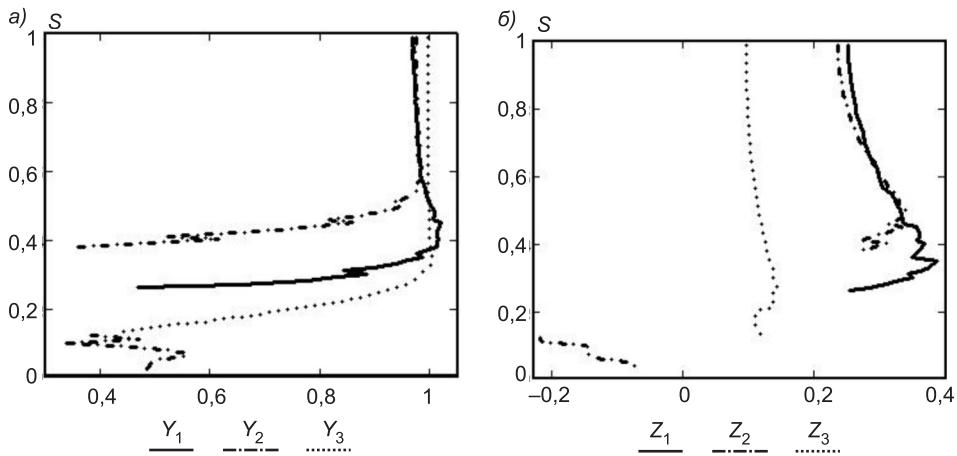


Рис. 2. Характеристики поля скоростей, полученных в поперечном сечении канала, проходящего через центр цилиндра (а, б)

Y_1, Z_1 — продольная и вертикальная содержащие поля скоростей для лежащей на дне трубы; Y_2, Z_2 — то же, над прикопанной трубой (прикопана на $d/2$); Y_3, Z_3 — то же, над приподнятой над дном трубой (приподнята на $d/2$)

интересные из них — это прикопанный цилиндр на $d/2$, лежащий на дне и приподнятый на $d/2$ над дном канала. Рассмотрим характеристики поля скоростей в центре канала. Для этого возьмем результаты, полученные в сечении канала при $x_1 = 0, x_2 = 25l$, а изменения по оси x_3 обозначим S , получим продольные (рис. 2, а) и вертикальные (рис. 2, б) значения поля скоростей.

Можно заметить, что прикопанная труба имеет картину поля скоростей очень близкую к полю скоростей течения в канале без трубы [3]. А вот картины для поля скоростей лежащей и приподнятой трубы, над самой трубой очень похожи, тогда как под приподнятой трубой поля скоростей меняют направления, что говорит об образовании там вихря, который размывает дно под трубой.

Теперь рассмотрим поле скоростей перед трубой, по самой ее кромке при $x_1 = 0, x_2 = 25l - \frac{d}{2}$ (рис. 3, а, б).

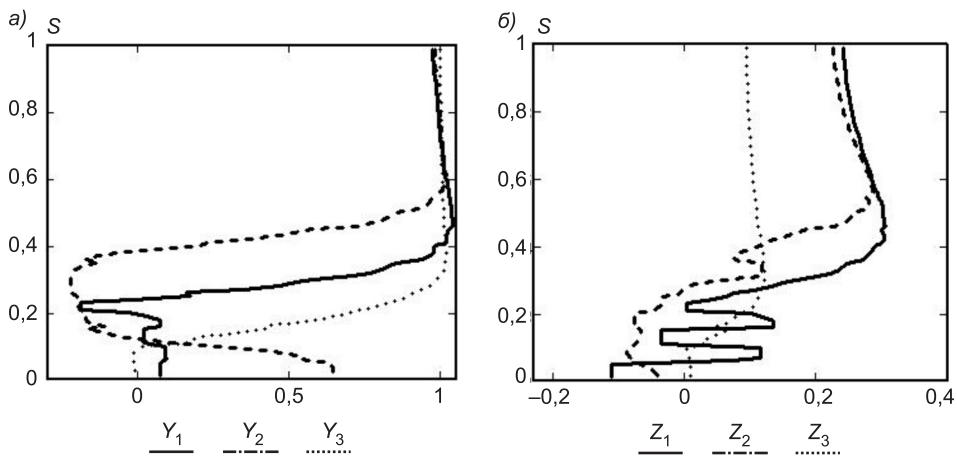


Рис. 3. Характеристики поля скоростей, полученных в поперечном сечении с напорной стороны, расположенным на диаметр от центра цилиндра

Условные обозначения те же, что и на рис. 2

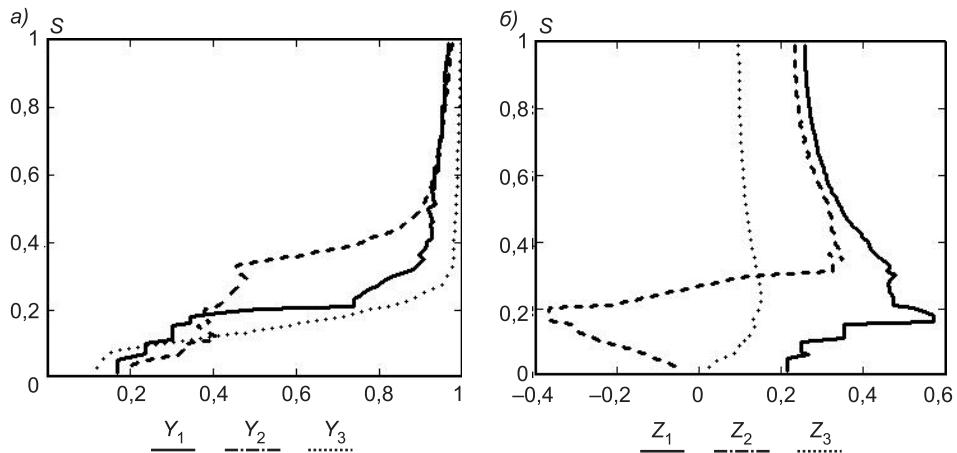


Рис. 4. Характеристики поля скоростей, полученных в поперечном сечении с тыловой стороны

Условные обозначения те же, что и на рис. 2

Из картины продольных значений поля скоростей можно увидеть, что для приподнятой трубы вихрь образуется уже перед самой трубой, тогда как для лежащей и прикопанной трубы с напорной стороны течение относительно спокойно.

Рассмотрим течение с тыловой стороны, по кромке трубы при $x_1 = 0$, $x_2 = 25l + \frac{d}{2}$ (рис. 4, а, б).

Картина значений поля скоростей на рис. 4, а, б показывает наличие вихревого движения жидкости с тыловой стороны для лежащей и приподнятой трубы.

На основании вышесказанного, наличие трубы в потоке создает достаточную помеху для образования вихревого движения под трубой (в случае приподнятой трубы) и за трубой (с тыловой стороны). Но при этом можно видеть, что в случае прикопанной трубы вихревое движение жидкости практически отсутствует.

Выводы. Рассмотрев течение в прямоугольном бесконечном канале с помехой в виде трубы, лежащей поперек канала, определили, что изменение положения трубы относительно дна канала существенно влияет на вид течения вокруг трубы. Если просто положить трубу на дно канала, то с тыловой стороны трубы образуется вихрь, который подмывает дно. А если труба зависнет, даже на не очень большом расстоянии от дна, то картина становится еще более яркой, вихрь начинает образовываться уже с напорной стороны по кромке трубы и дно подмывается и под трубой, и за трубой. Тогда как прикопав трубу лишь на половину, можно погасить возникновения вихревых движений за трубой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коchin, Н.Е. Теоретическая гидромеханика [Текст] / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе. — Изд. 6-е, испр. и доп. — М. : Физматлит, 1963. — 583 с.
2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика [Текст] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 3-е изд., испр. — М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 736 с.
3. Дегтярев, В.В. К вопросу о постановке граничных условий при численном моделировании открытых потоков в недеформируемом русле [Текст] / В.В. Дегтярев, Е.Е. Ершова // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 2–3. — С. 54–59.

4. Ковеня, В.М. Метод расщепления в задачах газовой динамики [Текст] / В.М. Ковеня, Н.Н. Яненко. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1981. — 254 с.

ДЕГТЬЯРЕВ-мл. Владимир Владимирович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gts@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЕРШОВА Елена Евгеньевна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: elena_ee@ngs.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 31.02.13

Degtyarev-youn. Vladimir Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: gts@sibstrin.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Ershova Elena Evgenevna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: elena_ee@ngs.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

NUMERICAL MODELING OF SPEED-STRUCTURE OF A FLOW IN THE FIELD OF THE CYLINDER, SIMULATING THE PIPELINE, LAYING AT THE BOTTOM OF NONDEFORMATION CHANNEL

In clause the numerical modeling of the established movement of a water flow in three-dimensional statement in the channel-channel of rectangular cross section and infinite length is considered. The cylinder of the given diameter d at the bottom is located. The arrangement of the cylinder changed rather at the bottom of the channel from $-d/2$ up to $2d$, with a step $d/4$. That corresponds on half dug, laying at the bottom and raised rather at the bottom to the cylinder.

Key words: established movement, open flow, numerical modeling, boundary condition, flow the pipeline, field of speeds.

REFERENCES

1. Kochin, N.E. Theoretische hydromechanik [Text] / N.E. Kochin, I.A. Kibel, N.V. Rose. — Ed. 6-th, corr. — M., 1963. — 583 p.
2. Landau, L.D. Theoretical physics. Vol. 6. Hydrodynamics [Text] / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. — Ed. 3-th, corr. — M. : Science, 1986. — 736 p.
3. Degtyarev, V.V. To the problem on statement of the boundary conditions at numerical modeling of the open flows in the non-deformation channel [Text] / V.V. Degtyarev, E.E. Ershova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 2-3. — P. 54–59.
4. Kovenya, V.M. The method of splitting in the gas dynamics problems [Text] / V.M. Kovenya, N.N. Yanenko. — Novosibirsk : Science, 1981. — 254 p.

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 628.511:533.6

И.Н. ЛОГАЧЕВ, К.И. ЛОГАЧЕВ, О.А. АВЕРКОВА, И.В. КРЮКОВ

ОСОБЕННОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА В ПЕРЕГРУЗОЧНОМ ЖЕЛОБЕ С КОМБИНИРОВАННОЙ БАЙПАСНОЙ КАМЕРОЙ*

Сообщение 1. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Получены и решены гидродинамические уравнения для оценки межкомпонентного взаимодействия в вертикальном перфорированном желобе при перемещении в них гравитационных потоков сыпучего материала и эжектируемого воздуха. Рассмотрен случай, когда рециркуляция восходящего в байпасной камере воздуха осуществляется как через отверстия равномерной перфорации стенок желоба, так и через торцевые отверстия на концах байпасной камеры. Определены параметры, обеспечивающие наибольшее снижение объемов эжекции за счет рециркуляции воздуха.

Ключевые слова: аспирация, перегрузки сыпучих материалов, эжекция воздуха.

Аспирация является одним из самых эффективных способов борьбы с пылью при перегрузках сыпучих материалов [1–3]. С увеличением мощности технологического оборудования повышается энергоемкость аспирационных систем и растут потери сыпучего материала при отсосе запыленного воздуха из аспирационных укрытий. Возникает требование добиться наибольшего санитарно-гигиенического эффекта меньшими затратами. Основные способы снижения энергоемкости аспирации — уменьшение объемов воздуха, поступающих через неплотности [4], и объемов эжектируемого потоком сыпучего материала воздуха за счет организации в загрузочном желобе циркуляции эжектируемого воздуха. Для обеспечения рециркуляции воздуха используется байпасная камера, соединенная аэродинамически с полостью загрузочного желоба. В данной работе рассматривается поток частиц в перфорированной круглой трубе, вокруг которой предусмотрена цилиндрическая байпасная камера с транзитным обменом воздуха между укрытиями перегрузочного узла при аспирации нижнего укрытия.

Цель исследования — получение количественных показателей эффективности этого решения.

1. Исходные уравнения. Рассмотрим случай байпасной камеры с транзитным обменом воздуха между укрытиями перегрузочного узла при аспирации нижнего укрытия (рис. 1). В этом случае движение эжектируемого и рециркулируемого воздуха осуществляется не только за счет аэродинамических сил падающих в желобе частиц перегружаемого мате-

* Исследования выполнены при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (проекты НШ-588.2012.8), РФФИ (проект № 12-08-97500-р_центр_a), плана стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

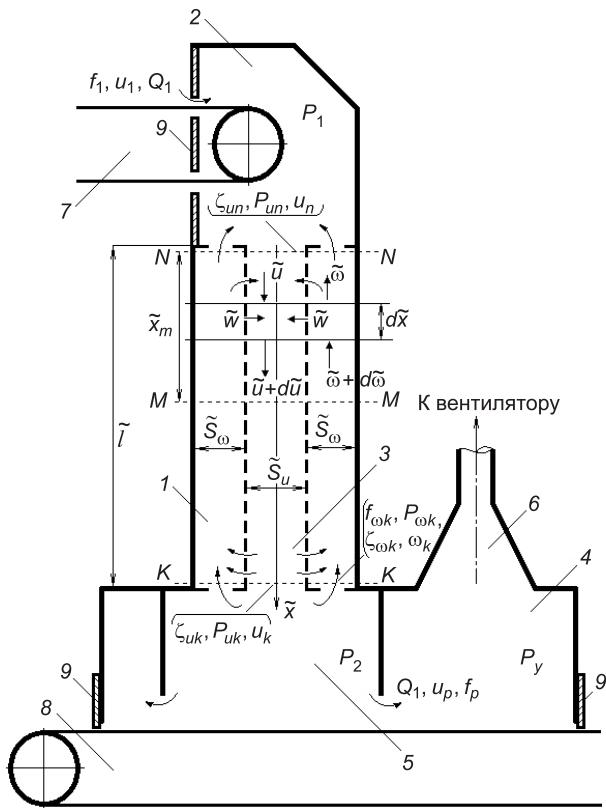


Рис. 1. Схема эжектируемого и рециркулируемого воздуха в желобе с комбинированной байпасной камерой
 1 — байпасная камера с транзитным проходом рециркулируемого воздуха; 2 — верхнее укрытие; 3 — желоб с перфорированными стенками; 4 — нижнее укрытие с внутренней камерой; 5 — для приема перегружаемого материала; 6 — аспирационный патрубок; 7, 8 — верхний и нижний конвейеры;
 9 — уплотнительные фартуки

риала, но и за счет разрежения в нижнем укрытии, создаваемого вентилятором аспирационной системы. Причем рециркуляция восходящего в байпасной камере воздуха осуществляется как через отверстия равномерной перфорации стенок желоба, так и через торцевые отверстия на концах байпасной камеры, через которые воздух поступает из внутренней камеры нижнего укрытия в полость байпасной камеры и выходит в полость верхнего неаспираируемого укрытия, снижая разрежение в последнем и уменьшая тем самым расход транзитного воздуха Q_1 . По мере движения восходящего потока воздуха его расход увеличивается за счет непрерывного поступления через перфорационные отверстия стенок желоба эжектируемого воздуха в нижней части и уменьшается в верхней части байпасной камеры. Таким образом, имеем два кольца рециркулируемого воздуха: внутреннее малое кольцо, по которому циркулирует эжектируемый воздух, и внешнее большое кольцо, по которому осуществляется так называемый транзитный обмен воздуха между укрытиями перегрузочного узла.

Количественная оценка объема рецикла воздуха и снижения расхода эжектируемого воздуха, поступающего в аспираируемое нижнее укрытие, отличается от рассмотренных ранее [1–3] тем, что скорость и величина статического давления на концах байпасной камеры, как и на концах пе-

регрузочного желоба, неодинаковы. Это несомненно усложняет анализ минимизации расхода эжектируемого воздуха. Как увидим далее, речь будет идти о решении системы трех нелинейных алгебраических (трансцендентных) уравнений, решение которых даже численными методами требует заметных усилий по времени счета. Что касается решения дифференциальных уравнений перетекания воздуха через перфорированные отверстия стенок желоба, используем приемы линеаризации неоднородного уравнения второго порядка.

Для формирования граничных условий выделим три характерных сечения: начальное $N-N$ (удаленное на бесконечно малое расстояние ε от начала координат, т.е. при $\tilde{x}=0+\tilde{\varepsilon}$), конечное $K-K$ (сечение при $\tilde{x}=\tilde{l}-\tilde{\varepsilon}$) и промежуточно-экстремальное $M-M$ (сечение, удаленное на расстояние \tilde{x}_m от начала координат), в котором наблюдаются экстремальные скорости (расходы) эжектируемого и рециркулируемого воздуха.

Обозначим размерные величины верхним значком \sim (тильда), усредненные по длине \tilde{l} — нижним индексом s (или простой чертой над буквой), безразмерные величины — теми же буквами, но без тильды. Уравнения неразрывности в силу того, что сечения желоба и байпасной камеры постоянны и равны соответственно \tilde{S}_u (м^2) и \tilde{S}_ω (м^2), а перфорация стенок желоба однородна по длине, примут вид:

$$\frac{du}{dx} = \frac{\tilde{S}_0}{\tilde{S}_u} w; \quad \frac{d\omega}{dx} = \frac{\tilde{S}_0}{\tilde{S}_\omega} w, \quad (1)$$

где $\tilde{S}_0 = \tilde{\Pi} \tilde{l} \varepsilon_0$ (м^2) — суммарная площадь перфорационных отверстий стенок желоба ($\tilde{\Pi}$ — периметр сечения желоба, м; \tilde{l} — длина желоба, м; ε_0 — степень перфорации, безразмерная величина).

Учитывая, что отношение $r = \tilde{S}_\omega / \tilde{S}_u$ постоянно по длине, можем систему (1) записать в виде

$$du = r d\omega \Rightarrow u - r\omega = z - \text{const} = u_n - r\omega_n = u_k - r\omega_k. \quad (2)$$

Для выяснения физической природы константы z запишем очевидный баланс расходов воздуха для укрытий:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{Q}_1 + \tilde{\omega}_n \tilde{S}_\omega &= \tilde{u}_n \tilde{S}_u \\ \tilde{u}_k \tilde{S}_u &= \tilde{Q}_1 + \omega_k \tilde{S}_\omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} \tilde{u}_n &= r\tilde{\omega}_n + \tilde{Q}_1 / \tilde{S}_u, \\ \tilde{u}_k &= r\tilde{\omega}_k + \tilde{Q}_1 / \tilde{S}_u, \end{aligned} \quad (3)$$

где \tilde{Q}_1 — расход транзитного воздуха ($\text{м}^3/\text{с}$). Сопоставляя эту систему уравнений с (2), имеем

$$z = \frac{\tilde{Q}_1}{\tilde{v}_k \tilde{S}_u},$$

где константа z — отношение расхода «глобального транзитного» воздуха к максимально возможному расходу эжектируемого воздуха. В силу того что \tilde{Q}_1 — часть аспирируемого воздуха (общий объемный расход воздуха, аспирируемого из нижнего укрытия, $\tilde{Q}_a = \tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_{nn}$, где \tilde{Q}_{nn} — объемный расход воздуха, поступающего через неплотности

этого укрытия), константа z и является главной искомой величиной нашей задачи.

Укажем еще на одно важное соотношение, легко получаемое из (3):

$$\frac{u_k - u_n}{\omega_k - \omega_n} = \frac{\tilde{S}_\omega}{\tilde{S}_u} \Rightarrow \tilde{S}_u (u_k - u_n) \tilde{v}_k = \tilde{S}_\omega (\omega_k - \omega_n) \tilde{v}_k = \tilde{Q}_R,$$

где \tilde{Q}_R — объемный расход воздухообмена между потоком эжектируемого воздуха в желобе и потоком воздуха, рециркулируемого в байпасной камере, $\text{м}^3/\text{с}$.

Коэффициент рецикла определяется очевидным соотношением

$$R_z = \frac{\tilde{Q}_\omega}{\tilde{Q}_u} = \frac{r\omega_k}{u_k} = \frac{u_k - z}{u_k} = 1 - \frac{z}{u_k}.$$

Безразмерное уравнение динамики восходящего течения воздуха в байпасной камере имеет вид:

$$dp_\omega + 4\omega d\omega = 0; \quad p_\omega = 2\tilde{p}_\omega / (\tilde{\rho} \tilde{v}_k^2); \quad \omega = \tilde{\omega} / \tilde{v}_k. \quad (4)$$

Уравнение эжектируемого воздуха в перфорированном желобе:

$$dp + 4u du = Le(v - u) |v - u| / v \cdot dx, \quad Le = 1,5\psi\beta_k l / \tilde{d}_e, \quad (5)$$

где ψ — коэффициент лобового сопротивления частиц; β_k — объемная концентрация частиц в конце желоба; d_e — эквивалентный диаметр частиц сыпучего материала; \tilde{v}_k — скорость частиц в конце желоба.

Условие перетекания воздуха через перфорационные отверстия стенки желоба

$$p_\omega - p_w = \zeta_0 |w| w.$$

Здесь w — безразмерная скорость перетекания воздуха, которую с учетом первого уравнения системы (1) можно выразить через изменение безразмерной скорости эжектируемого воздуха

$$w = \frac{1}{E\sqrt{\zeta_0}} \frac{du}{dx}, \quad (6)$$

где E — безразмерный параметр, характеризующий степень перфорации стенки желоба и коэффициент местного сопротивления (к.м.с.) отверстий:

$$E = \frac{\tilde{S}_0}{\tilde{S}_u \sqrt{\zeta_0}}.$$

Прежде чем перейти к интегрированию уравнений (4) и (5), сформулируем краевые условия.

Не снижая общности рассматриваемой задачи, будем полагать, что площади конечных сечений желоба и байпасной камеры равны соответственно площади поперечного сечения желоба и камеры¹. В этой связи краевые условия для скорости воздуха запишем в следующем виде:

в начальном сечении $N-N$ (при $x = 0$)

$$u(0) = u_n; \quad \omega(0) = \omega_n; \quad (7)$$

¹ При необходимости устройства суженных сечений это обстоятельство можно учесть при помощи увеличения к.м.с. отверстия в результате пересчета его величины на скорость в сечении желоба или камеры.

$$w(0) = \frac{u'(0)}{E\sqrt{\zeta_0}} = \gamma_w(0) \sqrt{\frac{|p_\omega(0) - p_u(0)|}{\zeta_0}}, \quad \gamma_w(0) = \text{signum}(p_\omega(0) - p_u(0)); \quad (8)$$

в конечном сечении $K-K$ (при $x = 1$)

$$u(1) = u_k; \quad \omega(1) = \omega_k; \quad (9)$$

$$w(1) = \frac{u'(1)}{E\sqrt{\zeta_0}} = \gamma_w(1) \sqrt{\frac{|p_\omega(1) - p_u(1)|}{\zeta_0}}, \quad \gamma_w(1) = \text{signum}(p_\omega(1) - p_u(1)). \quad (10)$$

Краевые условия для статических давлений выразим через к.м.с. и величины избыточных давлений в укрытии перегрузочного узла:

в начальном сечении $N-N$

$$\left. \begin{aligned} p_u(0) &= p_1 - \zeta_{un} u_n^2; \\ p_\omega(0) &= p_1 - \zeta_{\omega n} \omega_n^2; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

в конечном сечении $K-K$

$$\left. \begin{aligned} p_u(1) &= p_2 - \zeta_{uk} u_k^2; \\ p_\omega(1) &= p_2 - \zeta_{\omega k} \omega_k^2; \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где ζ_{un}, ζ_{uk} — к.м.с. соответственно входу эжектируемого воздуха в желоб и выходу его из желоба; $\zeta_{\omega n}, \zeta_{\omega k}$ — к.м.с. соответственно выходу восходящего потока воздуха из байпасной камеры и входу его в эту камеру; p_1, p_2 — избыточные статические давления соответственно в верхнем (неаспираторном) укрытии и в приемной камере нижнего (аспираторного) укрытия. Величина последних может быть выражена через к.м.с. неплотностей верхнего укрытия (ζ_1), перегородки приемной камеры (ζ_p), безразмерного разрежения в нижнем укрытии (p_y) и искомого параметра z :

$$p_1 = -\zeta_1 \left(\frac{\tilde{S}_u}{\tilde{f}_1} \right)^2 z^2 = -\zeta_1^* z^2, \quad \zeta_1^* = \zeta_1 \left(\frac{\tilde{S}_u}{\tilde{f}_1} \right)^2; \quad (13)$$

$$p_2 = p_y + \zeta_p \left(\frac{\tilde{S}_u}{\tilde{f}_p} \right)^2 z^2 = p_y + \zeta_p^* z^2, \quad \zeta_p^* = \zeta_p \left(\frac{\tilde{S}_u}{\tilde{f}_p} \right)^2, \quad (14)$$

где \tilde{f}_1 — суммарная площадь неплотностей верхнего укрытия, m^2 ; \tilde{f}_p — суммарная площадь зазора между стенками приемной камеры нижнего укрытия и груженой конвейерной лентой, m^2 ; \tilde{S}_u — площадь поперечного сечения желоба, m^2 .

2. Частный случай байпасирования неперфорированного желоба. Прежде чем перейти к решению поставленной задачи определения параметра z при устройстве комбинированной байпасной камеры, рассмотрим случай перегрузки сыпучего материала по желобу с непроницаемыми стенками (при $\zeta_0 \rightarrow \infty, E = 0$). Задача упрощается тем, что с небольшой погрешностью можно положить

$$\begin{aligned} u_n &= u_k = u \equiv u_c - \text{const}, \\ \omega_n &= \omega_k = \omega \equiv \omega_c - \text{const}. \end{aligned} \quad (15)$$

В этом случае возможно интегрирование уравнения динамики эжектируемого воздуха (5) в конечном виде, например, при равноускоренном потоке падающих частиц, скорость которых

$$v = \sqrt{(1-n^2)x + n^2}; \quad n = \tilde{v}_0 / \tilde{v}_k$$

может служить в качестве независимой переменной интегрирования (\tilde{v}_0 — скорость частиц при входе в желоб).

Исходное уравнение при этом, в силу того что

$$dx = \frac{2vdv}{1-n^2},$$

примет простой вид

$$dp_y = \frac{2Le}{1-n^2} (v - u_c) |v - u_c| dv,$$

конечное решение которого при краевых условиях (11), (12) и с учетом (15) после несложных преобразований можно записать в виде следующего критериального уравнения²

$$Eu + u_c |u_c| = Bu \frac{|1-u_c|^3 - |n-u_c|^3}{3}, \quad (16)$$

где Eu — критерий Эйлера, равный

$$Eu = \frac{p_2 - p_1}{\zeta_u}, \quad (17)$$

Bu — критерий Бутакова–Нейкова, вычисляемый по формуле

$$Bu = \frac{2Le}{\zeta_u (1-n^2)},$$

ζ_u — сумма к.м.с. желоба

$$\zeta_u = \zeta_{un} + \zeta_{uk}.$$

Заметим, что в силу (13) и (14) число Эйлера можно выразить через к.м.с. неплотностей верхнего укрытия (ζ_1^*) и перегородки приемной камеры (ζ_p^*), отнесенных к скорости эжектируемого воздуха u_c

$$Eu = \frac{\zeta_n^* z_c |z_c| + p_y}{\zeta_u}, \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} z_c &= u_c - r\omega_c, \\ \zeta_n^* &= \zeta_1^* + \zeta_p^*. \end{aligned} \quad (19)$$

С другой стороны, из уравнения (4) при $\omega = \omega_c$, $dp_\omega = 0$, откуда с учетом тех же краевых условий для давлений, получим

$$p_2 - p_1 = \zeta_\omega \omega_c |\omega_c|,$$

ζ_ω — сумма к.м.с. байпасной камеры

$$\zeta_\omega = \zeta_{\omega n} + \zeta_{\omega k},$$

² Здесь и далее вместо квадрата скорости принята форма записи $u|u|$, обеспечивающая расширение области применения уравнений на область отрицательных значений скорости.

и потому критерий Эйлера (17) можем записать через скорость восходящего потока ω_c

$$Eu = \frac{\zeta_\omega}{\zeta_u} \omega_c |\omega_c|. \quad (20)$$

С учетом этого результата перепишем уравнение (16) в виде следующего равенства:

$$\frac{\zeta_\omega}{\zeta_u} \omega_c |\omega_c| + u_c |u_c| = Bu \frac{|1 - u_c|^3 - |n - u_c|^3}{3},$$

решая которое с учетом (19) и уравнения

$$\frac{\zeta_\omega}{\zeta_n} \omega_c |\omega_c| = \zeta_n^* z_c |z_c| + p_y,$$

полученного из сопоставления правых частей соотношений (18) и (20), найдем следующие уравнения для определения параметра z_c , скорости эжектируемого воздуха в желобе u_c и скорости восходящего потока рециркулируемого воздуха в байпасной камере ω_c :

$$\frac{f}{\zeta_u} + F |F| = Bu \frac{|1 - F|^3 - |n - F|^3}{3}, \quad (21)$$

$$u_c = F; \quad \omega_c = \frac{f}{\sqrt{\zeta_\omega |f|}}, \quad (22)$$

где для простоты записи введены функции от параметра z_c :

$$f = \zeta_n^* z_c |z_c| + p_y,$$

$$F = z_c + \frac{rf}{\sqrt{\zeta_\omega |f|}}.$$

Определив решением уравнения (21) величину z_c , можно найти расход воздуха \tilde{Q}_1 ($\text{м}^3/\text{с}$), нагнетаемого в нижнее укрытие в результате динамического взаимодействия потока сыпучего материала и разрежения в укрытии

$$\tilde{Q}_1 = z_c \tilde{v}_k \tilde{S}_u,$$

а также расход рециркулируемого воздуха в байпасной камере

$$\tilde{Q}_R = \omega_c \tilde{v}_k \tilde{S}_\omega$$

и расход воздуха \tilde{Q}_u ($\text{м}^3/\text{с}$), поступающего из желоба во внутреннюю камеру:

$$\tilde{Q}_u = u_c \tilde{v}_k \tilde{S}_u.$$

Естественно, при изотермических условиях должен соблюдаться очевидный баланс этих расходов

$$Q_R + Q_1 = Q_u.$$

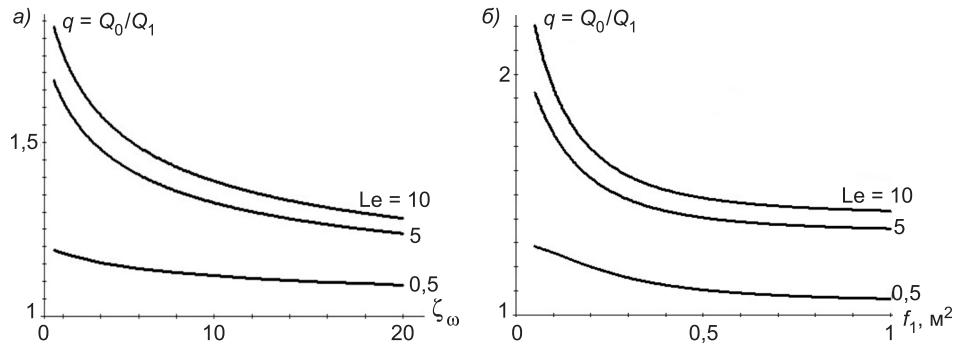


Рис. 2. Изменение относительного расхода воздуха, нагнетаемого в нижнее укрытие потоком сыпучего материала в зависимости от к.м.с. байпасной камеры ζ_ω и от площади неплотностей верхнего укрытия f_l при $v_0 = 3 \text{ м/с}$; $v_k = 10 \text{ м/с}$; $p_3 = -10 \text{ Па}$; Q_1 — с байпасной камерой; Q_0 — при $\zeta_\omega \rightarrow \infty$ (при отсутствии байпасной камеры)
 a — при $S_u = S_\omega = 0,3 \text{ м}^2$; $f_l = f_p = 0,3 \text{ м}^2$; $\zeta_u = 1,5$; $\zeta_1 = \zeta_p = 2,4$; b — при $S_u = S_\omega = 0,3 \text{ м}^2$; $f_p = 0,3 \text{ м}^2$; $\zeta_u = 1,5$; $\zeta_\omega = 4$; $\zeta_1 = \zeta_p = 2,4$

Легко определить и расход воздуха, поступающего из желоба в нижнее укрытие при закрытых торцевых отверстиях байпасной камеры (т.е. при $\tilde{Q}_R = 0$). Для этого необходимо решить уравнение (16) с учетом того, что $u_c = u_0 = z_c$ и потому

$$Eu_0 + u_0|u_0| = Bu \frac{|1-u_0|^3 - |n-u_0|^3}{3}, \quad (23)$$

где в силу (18)

$$Eu_0 = \frac{\zeta_n^* u_0^2 + p_y}{\zeta_u}.$$

Определив из уравнения (23) безразмерную скорость эжектируемого воздуха u_0 , найдем расход воздуха

$$Q_0 = u_0 \tilde{v}_k \tilde{S}_u,$$

поступающего из желоба в нижнее укрытие при отсутствии байпасной камеры.

Как показали расчеты на «опытном» примере перегружочного узла (рис. 2, 3), расход этого воздуха заметно вырос по сравнению с перегрузкой по желобу при наличии байпасной камеры с малым аэродинамическим сопротивлением ($\zeta_\omega < 2$) и небольшой площадью неплотностей верхнего укрытия ($f_l < 0,2 \text{ м}^2$) особенно при больших числах эжекции ($Le > 5$). С ростом параметра эжекции Le изменяется и коэффициент рецикла R_z (см. рис. 3) от -1 до положительных «асимптотических» величин при $Le \geq 3$. Отрицательные

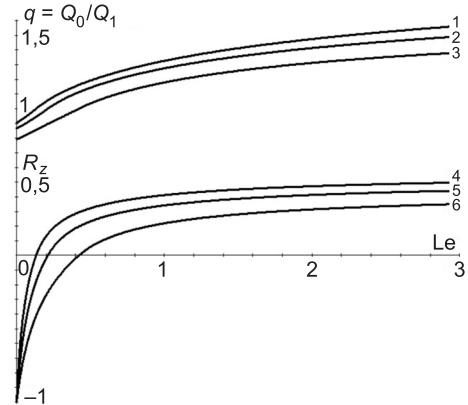
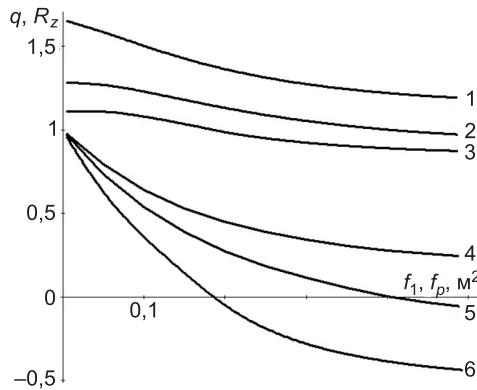


Рис. 3. Изменение относительного расхода воздуха $q = Q_0 / Q_1$, нагнетаемого в нижнее укрытие в результате эжекции потока сыпучего материала, и степени рецикла эжектируемого воздуха в зависимости от числа Le (при $S_u = S_\omega = 0,3 \text{ м}^2$; $f_l = f_p = 0,3 \text{ м}^2$; $v_k = 10 \text{ м/с}$; $\zeta_1 = \zeta_p = 2,4$; $n = 0,3$; разрежения в укрытии $p_3 = -10 \text{ Па}$, создаваемого вентилятором аспирационной установки)

1 — q при $\zeta_u = \zeta_\omega = 1,5$; 2 — q при $\zeta_u = \zeta_\omega = 2,4$; 3 — q при $\zeta_u = \zeta_\omega = 4,8$; 4 — R_z при $\zeta_u = \zeta_\omega = 1,5$; 5 — R_z при $\zeta_u = \zeta_\omega = 2,4$; 6 — R_z при $\zeta_u = \zeta_\omega = 4,8$



Rис. 4. Изменение относительного расхода воздуха $q = Q_0 / Q_1$ и степени рецикла эжектируемого воздуха R_z в зависимости от площади неплотностей верхнего укрытия f_l (при $f_p = 0,3 \text{ м}^2$) или от площади зазора приемной камеры f_p (при $f_l = 0,3 \text{ м}^2$) при $S_u = S_{\omega} = 0,3 \text{ м}^2$; $\zeta_l = \zeta_p = \zeta_u = \zeta_{\omega} = 2,4$; $v_k = 10 \text{ м/с}$; $n = 0,3$; $p_3 = -10 \text{ Па}$

1 — q при $Le = 1,0$; 2 — q при $Le = 0,3$; 3 — q при $Le = 0,1$; 4 — R_z при $Le = 1,0$; 5 — R_z при $Le = 0,3$; 6 — R_z при $Le = 0,1$

за счет хорошей герметизации будет вентилятором в нижнем укрытии.

величины R_z при малых величинах Le объясняются тем, что из-за большого разрежения в нижнем укрытии ($p_3 \leq -10$) и малой эжектирующей способности потока сыпучего материала байпасная камера выполняет роль параллельного воздуховода, по которому из верхнего укрытия воздух поступает в приемную камеру — наблюдается «отрицательный рецикл» ($\omega_c < 0$, $q < 1$). Этого можно избежать, увеличив аэродинамическое сопротивление ζ_n^* и уменьшив площади неплотностей f_l и f_p (рис. 4).

Заметна роль герметизации верхнего укрытия и устройства приемной камеры с небольшими зазорами для прохода материала. Естественно, при отсутствии этой камеры «положительная» рециркуляция возможна лишь в случае, когда разрежение в верхнем укрытии больше разрежения, создаваемого

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Логачев, И.Н. Эжекция воздуха ускоренным потоком частиц в перфорированном вертикальном канале с байпасной камерой. Сообщение 1. Уравнения динамики эжектируемого и рециркулируемого воздуха [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 10. — С. 46–53.
- Логачев, И.Н. Эжекция воздуха ускоренным потоком частиц в перфорированном вертикальном канале с байпасной камерой. Сообщение 2. Линеаризация дифференциальных уравнений [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 11–12. — С. 62–70.
- Логачев, И.Н. Эжекция воздуха ускоренным потоком частиц в перфорированном вертикальном канале с байпасной камерой. Сообщение 3. Численные эксперимент и результаты исследований [Текст] / И.Н. Логачев, К.И. Логачев, О.А. Аверкова // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 1. — С. 79–87.
- Аверкова, О.А. Закономерности отрывного течения при входе в выступающий канал с экранами [Текст] / О.А. Аверкова, И.Н. Логачев, К.И. Логачев, А.К. Логачев // Ученые записки ЦАГИ. — 2013. — Т. XLIV, № 2. — С. 33–49.

ЛОГАЧЕВ Иван Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ЛОГАЧЕВ Константин Иванович, д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
АВЕРКОВА Ольга Александровна, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
КРЮКОВ Илья Валерьевич, студ.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 13.02.13

Logachev Ivan Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Logachev Konstantin Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Averkova Olga Alexandrovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Kryukov Ilya Valerievich, student, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

FEATURES OF RECIRCULATION OF AIR IN TRANSFERRING TROUGH WITH THE COMBINED BYPASS CAMERA

Message 1. MAIN EQUATIONS

Were obtained and solved hydrodynamic equations for estimating inter-component interaction in a vertical perforated trough when moving in them of gravitational flow of bulk material and air ejection. Considered case when recirculation of ascending air in the bypass camera is carried out as through uniform openings of perforation walls of a trough and through butt-end openings on the ends of the bypass camera. Parameters are determined which provide the greatest decrease of ejection volumes at the expense of recirculation air.

Key words: aspiration, bulk material transfer, ejection on of air.

REFERENCES

1. Logachev, I.N. Ejection of air by the stream of bulk material in a vertical perforated trough. Message 1. The dynamics equations of ejected and recirculated air [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 10. — P. 46–53.
2. Logachev, I.N. Ejection of air by the stream of bulk material in a vertical perforated trough. Message 2. Linearization of differential equations [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 11–12. — P. 62–70.
3. Logachev, I.N. Ejection of air by the stream of bulk material in a vertical perforated trough. Message 3. Numerical experiment and research results [Text] / I.N. Logachev, K.I. Logachev, O.A. Averkova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2013. — N 1. — P. 79–87.
4. Averkova, O.A. The principles of detached flow at input to protruding canal with screens [Text] / O.A. Averkova, I.N. Logachev, K.I. Logachev, A.K. Logachev // TSAGI Science Journal. — 2013. — Vol. XLIV, N 2. — P. 33–49.

УДК 697.911

В.И. КОСТИН

УЧЕТ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ В ПОМЕЩЕНИЕ ПРИ РАСЧЕТЕ СИСТЕМ КЛИМАТИЗАЦИИ

В статье показана целесообразность проведения помесячных и посуточных расчетов систем климатизации. Проведение таких расчетов повысит надежность этих систем и снизит эксплуатационные затраты.

Ключевые слова: тепlopоступления, динамика, расчет, системы климатизации.

Традиционно расчет систем климатизации в нашей стране ведется для трех температур наружного воздуха, принятых за расчетные для соответствующих периодов года: теплого, переходного, холодного [1]. Обеспечивает ли такой подход решение основной задачи систем климатизации — поддержание в помещении требуемого микроклимата при оптимальных капитальных и энергетических затратах? Думается, что нет. Поэтому представляются весьма интересными предложения, внесенные Ю.А. Табунщиковым и Ю.В. Миллером в статье [2]. Приведя ряд расчетов для жилых и административных помещений, авторы делают вывод, вносящий в случае его реализации существенные корректизы в практику проектирования систем климатизации.

«Целесообразно проводить расчеты годового расхода тепловой энергии на отопление и охлаждение помещений зданий по разработанной математической модели, учитывающей особенности режима эксплуатации помещения, такие как переменный воздухообмен, изменение внутренних тепlopоступлений, переменные температуры внутреннего воздуха в течение суток, а также особенности почасовых изменений параметров наружного воздуха в течение года» [2]¹.

Рассмотрим возможные результаты применения этой идеи на стадии проектирования на примере расчета мощности системы охлаждения промышленного здания с повышенными требованиями к точности поддержания заданной температуры внутреннего воздуха t_b . Помещение расположено на первом этаже здания, имеет две наружные стены, ориентированные на юг и север. Место расположения — г. Новосибирск. Расчетная температура наружного воздуха $t_h^p = 26,4^\circ\text{C}$. Амплитуда колебания наружного воздуха от максимальной t_h^{\max} до минимальной температуры $t_h^{\min} A_{t_h} = 11,4^\circ\text{C}$. Объем помещения $10\ 800 \text{ m}^3$, внутренние поступления теплоты в рабочее время $Q_b = 32,4 \text{ кВт}$, кратность воздухообмена, определенная из условия соблюдения санитарных стандартов, $n = 4$, $t_b = 20^\circ\text{C}$.

Конструкция стен: кирпичная кладка толщиной $\delta = 0,51 \text{ м}$, утеплитель URSA, $\delta = 0,06 \text{ м}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,042 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot {}^\circ\text{C})$.

¹ Подробное изложение этой математической модели приводится в книге [3].

Пол утепленный, утеплитель керамзитобетон, $\delta = 0,06$ м, $\lambda = 0,24$ Вт/(м · °C). Остекление двойное (второе стекло теплоотражающее), сопротивление теплопередаче 0,48 (м · °C)/Вт.

Доля максимальных часовых поступлений от солнечной радиации $Q_{\text{c.p}}^{\max}$ в общем тепловом балансе 26,1 %.

Расчеты производились по программе РНП «АВОК» 5.1–2008 «Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных теплопоступлениях». Часть результатов опубликована ранее в статье [4]. Здесь приводятся новые расчеты, которые производились из условия поддержания постоянной температуры t_b как в рабочее, так и в нерабочее время. Возможность отклонения температурного режима от расчетного в нерабочее время во избежание убытков от брака должна быть обоснована расчетами, подтвержденными натурными испытаниями. Однако подобного рода исследования нам неизвестны. Кроме того, в условиях рыночной экономики число рабочих часов зависит от объема заказов. Одно и то же предприятие может работать и в одну смену, и круглосуточно. Следовательно, системы климатизации должны быть одинаково экономичны и эффективны при любой сменности в работе.

На рис. 1–3 показана в относительных величинах \bar{Q}_x динамика изменения мощности системы охлаждения в течение расчетных суток (июль) при одно-, двух- и трехсменной работе.

$$\bar{Q}_x = \frac{Q_x^{\min}}{Q_x^p}. \quad (1)$$

Здесь Q_x^{\min} , Q_x^p — минимальная и расчетная (максимальная) мощности системы охлаждения.

$$Q_x = Q_x^p + Q_x^b, \quad (2)$$

где Q_x^p , Q_x^b — соответственно расходы холода на охлаждение помещения и приточного воздуха.

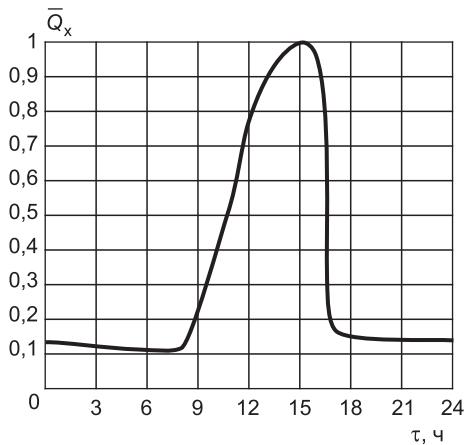


Рис. 1. Суточное изменение холодильной нагрузки при односменной работе (рабочий период с 8 до 16 ч)

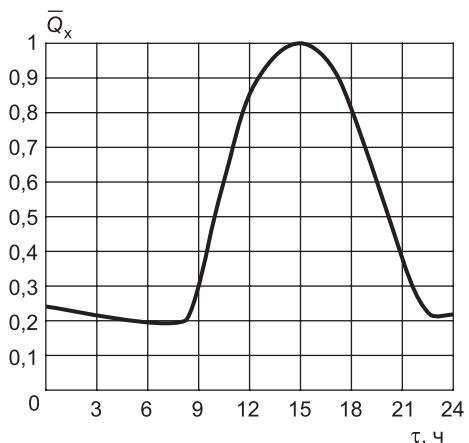


Рис. 2. Суточное изменение холодильной нагрузки при двухсменной работе (рабочий период с 8 до 24 ч)

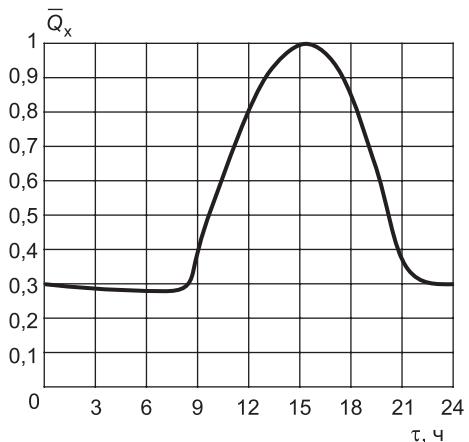


Рис. 3. Суточное изменение холодильной нагрузки при трехсменной работе

Таблица 1

Число смен	$\frac{Q_b + Q_{\max}^{c.p.}}{Q_x^{p,n}}$	$\frac{Q_x^{\min}}{Q_x^p}$	$\frac{\Delta Q_x^n}{Q_x^{cp,n}}, \%$	$\frac{Q_{x_i}^p}{Q_{x_3}^p}$	$\frac{Q_{x_i}^{p,n}}{Q_{x_3}^{p,n}}$
Одна	2,74	0,112	$\pm 12,9$	0,818	0,39
Две	1,72	0,192	$\pm 11,14$	0,882	0,69
Три	1,152	0,3	$\pm 0,58$	1	1

В табл. 1 приводятся сопоставления ряда расчетных показателей. В ней приняты следующие обозначения:

Q_b — внутренние тепlopоступления; $Q_{\max}^{c.p.}$ — максимальные часовые поступления солнечной радиации; $Q_x^{p,n}$ — максимальный расход холода на охлаждение помещения, определенный данным расчетом; ΔQ_x^n — амплитуда колебания расхода холода на охлаждение помещения от среднесуточного расхода $Q_x^{cp,n}$; Q_{x_i} — расход холода для одно-, двухсменной работы, Q_{x_3} — для трехсменной работы. Данные табл. 1 позволяют сделать следующие выводы:

1. Определение мощности системы охлаждения по максимальным тепlopоступлениям ($Q_b + Q_{\max}^{c.p.}$) существенно завышает ее величину (особенно при одно- или двухсменной работе).

2. Суточные колебания расходов холода определяются в основном изменением температуры наружного воздуха. Амплитуда изменения потребности в холоде для помещения ΔQ_x^n невелика. Однако для помещений с большей степенью остекления и с меньшей тепловой инерцией ограждающих конструкций она может быть значительной.

В любом случае динамика изменения затрат холода на охлаждение приточного воздуха и помещения будет различной.

Рассмотрим теперь, как результаты расчетов можно использовать для анализа вариантов проектных решений системы охлаждения. Прогонализируем следующие два варианта.

1. Раздельная система охлаждения приточного воздуха и помещения. Температура приточного воздуха принимается равной температуре внутреннего воздуха, а помещение охлаждается, например, настилающимися на остекление струями.

2. Совмещение охлаждения с приточным воздухом (совмещенная схема). Возникает вопрос — достаточно ли произведенные для расчетного режима вычисления дают информации для технико-экономического сравнения этих вариантов.

В табл. 2 приводится продолжительность стояния температур наружного воздуха t_h до 10°C и менее 20°C (в % от общей продолжительности месяцев) для трех городов России за период май–сентябрь².

Таблица 2

Город	t_h	Месяц				
		май	июнь	июль	август	сентябрь
Благовещенск	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	42,3	3,1	1	1,5	36,8
	$< 20^{\circ}\text{C}$	88,4	59,7	41,8	63	91,4
Москва	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	33	8,9	1,9	9,3	41
	$< 20^{\circ}\text{C}$	86,4	72,9	68	75,8	98,2
Новосибирск	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	45,2	15	3,7	16,7	53,4
	$< 20^{\circ}\text{C}$	89,5	68,9	58,7	80,5	93,4

² Таблица составлена на основе данных «Научно-прикладного справочника по климату СССР». СПб., 1989–1998 гг.

Из табл. 2 видно, что мощность холодильной нагрузки может существенно меняться за период с мая по сентябрь. При этом колебания нагрузки могут происходить в рамках одного месяца. А в помещениях с повышенными требованиями к круглосуточному постоянству температурного режима даже в июле может потребоваться подогрев приточного воздуха.

Поэтому были произведены расчеты для двух возможных в июле случаев³.

1. Минимальная температура $t_h^{\min} = 10^{\circ}\text{C}$, максимальная $t_h^{\max} = 17,5^{\circ}\text{C}$. Пасмурная погода.

2. $t_h^{\min} = 12^{\circ}\text{C}$, $t_h^{\max} = 22,9^{\circ}\text{C}$.

Переменная облачность.

В обоих случаях требовалось круглосуточное охлаждение помещений.

Результаты расчета для совмещенной схемы при трехсменной работе представлены на рис. 4. Кривая 1 соответствует первому случаю, кривая 2 — второму; Q_h — динамика изменения нагрева, Q_x — охлаждения. Из рис. 4 видно, что для первого случая требуется круглосуточный нагрев приточного воздуха, для второго — с 10 до 20 ч необходимо охлаждение, в остальное время требуется нагрев. Но смена работы теплообменников с режима нагрева на режим охлаждения и наоборот требует времени, в течение которого вследствие переходных процессов в системе обработки воздуха возможно нарушение температурного режима в помещении и появление брака.

Для устранения этого явления нужны соответствующие решения, предусмотренные заранее в проекте.

Проведенные аналогичные расчеты для одно-, двухсменной работы показали, что при совмещенной схеме требуются значительные затраты энергии на нагрев приточного воздуха в нерабочее время (табл. 3), а при односменной работе — и на его охлаждение после окончания смены в течение 3–4 ч.

Таблица 3

Число смен	Q_h/Q_x	
	$t_h^{\min} = 10^{\circ}\text{C}$, $t_h^{\max} = 17,5^{\circ}\text{C}$	$t_h^{\min} = 12^{\circ}\text{C}$, $t_h^{\max} = 22,9^{\circ}\text{C}$
Одна	7,41	3,76
Две	2,57	1,49

П р и м е ч а н и е. Q_h — суточный расход тепла на нагрев приточного воздуха, Q_x — суточный расход холода на охлаждение помещения.

³ Проблемы, связанные с расчетами для мая и сентября, рассмотрены в статье [4].

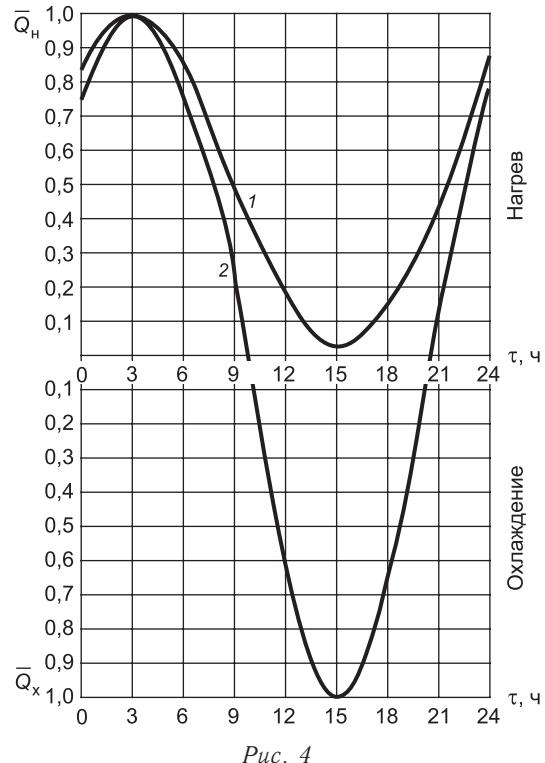


Рис. 4

Из табл. 2 видно, что продолжительность стояния температур t_h менее 20 °C за летние месяцы составляет: для Благовещенска 55,8 %, для Москвы 72,1 %, для Новосибирска 69,4 %. Следовательно, при совмещённой схеме для случаев одно- и двухсменной работы придется нагревать приточный воздух практически все лето.

Таким образом, применение совмещённой схемы охлаждения при однo-, двухсменной работе нецелесообразно. Заметим, что при расчетном режиме ($t_h^{\max} = 26,4$ °C) затраты на нагрев приточного воздуха в нерабочее время невелики и частично компенсируются теплотой, аккумулированной ограждающими конструкциями. И если ограничиться сравнениями вариантов при параметрах наружного воздуха Б, то выводы могут получиться противоположными. Вопрос о целесообразности совмещённой схемы охлаждения при круглогодичной работе следует решать на основе технико-экономического анализа.

При традиционном расчете вряд ли удалось бы выявить необходимость подогрева приточного воздуха в июле, а тем более — смену режима работы теплообменных аппаратов (нагрев—охлаждение—нагрев) в течение суток.

Эти выводы справедливы и для случаев, где искусственное охлаждение воздуха не применяется. Примером могут служить данные о необходимости учета почасовых изменений t_h при расчете систем вентиляции на ассимиляцию избыток теплоты, приведенные в работе [5].

Реализация предложений авторов статьи [2] позволит учесть специфику зданий различного назначения, например, зрелищно-развлекательного направления и общественного питания. В этих зданиях максимум внутренних теплопоступлений приходится на вечернее время (с 18 до 22 ч, а иногда и позже), т.е. на период более низких температур наружного воздуха, по сравнению с так называемым расчетным часом. Так, в Новосибирске это снижение составляет: в 18 ч — 1,2 °C; в 20 ч — 4 °C; в 22 ч — 6,8 °C. Соответственно будут меньше и расходы энергии на охлаждение приточного воздуха, а значит, и установочные холодильные мощности.

В то же время здания административного и общественного назначения, как правило, в ночное время не работают. И следовательно, для них нет необходимости делать вышеупомянутые расчеты на случай появления в июле низких температур t_h (порядка 10 °C), которые могут быть в ночные часы.

Таким образом, число расчетных климатических точек (сочетаний параметров наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации) зависит от конкретных климатических условий, назначения помещений, требований к состоянию его воздушной среды.

Расчеты должны учитывать годовую (по месяцам) и суточную динамику изменения потребности в теплоте (холоде) наружного воздуха.

Предложения, высказанные в статье [2], отнюдь не противоречат СНиПу [1], где регламентированы лишь экстремальные для соответствующего периода температуры наружного воздуха. А введение помесячных и почасовых расчетов повысит надежность систем климатизации и снизит затраты на их создание и эксплуатацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 41-01-2003 : Отопление, вентиляция и кондиционирование : введ. в действие 01.01.2004 / Госстрой России. — М. : Госстрой России, 2004. — 54 с.

2. Табунщиков, Ю.А. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, Ю.В. Миллер // АВОК. — 2013. — № 3. — С. 56–63.
3. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач // АВОК-ПРЕСС, 2002. — 194 с.
4. Костин, В.И. Проблемы расчета холода на системы кондиционирования промышленных зданий [Текст] / В.И. Костин, Е.Ю. Русских // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 5. — С. 60–64.
5. Костин, В.И. Проблемы расчета воздухообмена в помещениях с избытками теплоты [Текст] / В.И. Костин, Б.А. Федоров // Изв. вузов. Строительство. — 2011. — № 6. — С. 54–58.

*КОСТИН Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 25.02.13

Kostin Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

ACCOUNTING DYNAMICS OF CHANGES IN EXTERNAL AND INTERNAL HEAT GAINS IN THE ROOM WHEN CALCULATING SYSTEMS CONDITIONING

The article shows the usefulness of the monthly and daily accounts of systems of air-conditioning. Execution of such settlements will increase the reliability of these systems and reduce operating costs.

Key words: heat supplies, dynamics, calculation, environmental control systems.

REFERENCES

1. SN&R 41-01–2003 : Heating, ventilation and air conditioning : enter 01.01.2004 / Gosstroj of Russia. — M. : Gosstroj of Russia, 2004. — 54 p.
2. Tabunshikov, Yu.A. Assessment of annual energy consumption on heating and cooling of buildings [Text] / Yu.A. Tabunshikov, Yu.V. Miller // AVOK. — 2013. — N 3. — P. 56–63.
3. Tabunshikov, Yu.A. Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings [Text] / Yu.A. Tabunshikov, M.M. Brodach // AVOK-PRESS, 2002. — 194 p.
4. Kostin, V.I. Problems of calculation of expenses of gold sistems air conditioning of industrial buildings [Text] / V.I. Kostin, E.Yu. Russkikh // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 5. — P. 60–64.
5. Kostin, V.I. Problem of calculation of air exchange in premises with surpluses of warmth during the warm period [Text] / V.I. Kostin, B.A. Fedorov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2011. — N 6. — P. 54–58.

УДК 697.97.975.003.1

Е.Г. МАЛЯВИНА, А.А. ФРОЛОВА

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ПЕРЕХОДА НА СВОБОДНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ КОНДИЦИОНИРУЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель предлагаемой статьи заключается в экономической оценке перехода от свободного к машинному охлаждению при разной температуре наружного воздуха и определении цены холода при машинном и свободном охлаждении.

Ключевые слова: холодильная машина, машинное охлаждение, свободное охлаждение, капитальные вложения, эксплуатационные затраты, совокупные дисконтированные затраты.

При расчете годовых затрат энергии на поддержание заданных параметров микроклимата помещений обычно учитывается довольно значительное электропотребление на машинное (с помощью холодильных машин) охлаждение и считается практически бесплатным свободное охлаждение [1]. В настоящей статье рассматривается несколько типоразмеров установки холодоснабжения, обеспечивающих покрытие холодильной нагрузки при разной расчетной температуре наружного воздуха для московского региона t_h^P , и осуществляющих переход на свободное охлаждение при различной текущей температуре наружного воздуха t_h :

- вариант 1а — $t_h^P = 26^\circ\text{C}$, $t_h = +5^\circ\text{C}$;
- вариант 1б — $t_h^P = 26^\circ\text{C}$, $t_h = +9^\circ\text{C}$;
- вариант 2а — $t_h^P = 28^\circ\text{C}$, $t_h = +5^\circ\text{C}$;
- вариант 2б — $t_h^P = 28^\circ\text{C}$, $t_h = +9^\circ\text{C}$;
- вариант 3а — $t_h^P = 32^\circ\text{C}$, $t_h = +5^\circ\text{C}$;
- вариант 3б — $t_h^P = 32^\circ\text{C}$, $t_h = +9^\circ\text{C}$.

Системы состоят из двух холодильных машин на базе винтовых компрессоров с водоохлаждаемыми конденсаторами, двух сухих охладителей, двух насосных станций, промежуточного теплообменника и запорной арматуры.

Ранее в [2] расчетом были найдены расходы выработки холода за год и потребленной электроэнергии при свободном и машинном охлаждении, которые приведены в табл. 1. Результаты табл. 1 и все дальнейшие оценки относятся к случаю винтовых холодильных машин с водоохлаждаемыми конденсаторами.

Экономический анализ полученных результатов выполнялся на основе сравнения совокупных дисконтированных затрат (СДЗ), руб., на поддержание заданного микроклимата помещений при различных вариантах системы охлаждения. СДЗ в соответствии с [3] для T лет рассчитывались по формуле:

$$СДЗ = K \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T + \mathcal{E} \cdot \left[\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T - 1 \right] \cdot \left(\frac{100}{p}\right),$$

где p — норма дисконта, % (здесь $p = 10\%$);

© Малаявина Е.Г., Фролова А.А., 2013

Таблица 1
Годовые выработка холода и потребление электроэнергии, кВт · ч

Годовое	Система	Варианты					
		1а	1б	2а	2б	3а	3б
Потребление электроэнергии	Свободное охлаждение	37 169	69 476	35 057	59 122	37 417	59 880
	Машинное охлаждение	159 342	123 711	140 618	110 146	146 172	103 552
	Итого:	196 511	193 187	175 675	169 268	183 589	163 432
Выработка холода	Свободное охлаждение	262 051	402 884	262 051	402 884	262 051	402 884
	Машинное охлаждение	407 244	267 130	409 259	268 450	409 392	268 559
	Итого:	669 295	670 014	671 310	671 334	671 443	671 443

К — капитальные затраты, руб., для соответствующего варианта;
 Т — срок окупаемости системы, принятый по сроку службы оборудования для охлаждения помещения $T = 25$ лет;
 Э — годовые эксплуатационные затраты по вариантам.

Единовременные капитальные затраты К, руб., для вариантов машинного и свободного охлаждения здания складываются из стоимости оборудования на охлаждение помещений $K_{об}$, руб., и стоимости условий присоединения системы охлаждения к электросети г. Москвы $K_{прис}$, равной 40 тыс. руб. за 1 кВт электрической мощности.

Эксплуатационные затраты, руб./год, на охлаждение здания состоят из стоимости затрачиваемой электроэнергии $\mathcal{E}_{охл}$, руб./год за год, и амортизационных отчислений на эксплуатацию оборудования $\mathcal{E}_{ам}$, руб./год. Причем $\mathcal{E}_{охл}$ рассчитывается исходя из стоимости электроэнергии. Рассмотрены четыре варианта стоимости электроэнергии: 3,04 руб./($\text{kVt} \cdot \text{ч}$) для одноставочного тарифа высокого напряжения, 3,13 руб./($\text{kVt} \cdot \text{ч}$) для полупиковой зоны трехстavочного тарифа высокого напряжения, 4,77 руб./($\text{kVt} \cdot \text{ч}$) для одноставочного тарифа низкого напряжения, 4,85 руб./($\text{kVt} \cdot \text{ч}$) для полупиковой зоны трехстavочного тарифа низкого напряжения (Тарифы на электрическую энергию для потребителей с максимальной мощностью энергопринимающих устройств от 150 до 670 кВт ОАО «Мосэнергосбыт», март 2013 г.).

Амортизационные отчисления $\mathcal{E}_{ам}$, руб./год, определялись по формуле [4]:

$$\mathcal{E}_{ам} = \frac{K_{прис} + 1,5 \cdot K_{об}}{T_{ам}}.$$

Коэффициент 1,5 учитывает необходимость амортизационных отчислений как на полное восстановление оборудования из расчета, что за срок $T_{ам}$ будет накоплена его полная начальная стоимость, так и на его капитальный и текущий ремонт [4].

Стоимость оборудования по вариантам приведена в табл. 2, из которой следует, что, казалось бы, незначительное увеличение мощности сухих охладителей в условиях увеличившейся всего на 4 °C температуры наружного воздуха значительно увеличивает их стоимость.

На основе приведенных выше данных о затратах электроэнергии и стоимости оборудования рассчитаны капитальные и эксплуатационные затраты на охлаждение здания, которые представлены в сводной табл. 3.

Таблица 2
Стоимость оборудования для системы охлаждения воздуха, тыс. руб.

Оборудование	Варианты					
	1а	1б	2а	2б	3а	3б
Холодильные машины	2 966,88	2 966,88	2 966,88	2 966,88	3 139,72	3 139,72
Сухие охладители	2 248,96	3 531,92	2 023,36	3 852,576	2 896,72	3 877,36
Установки насосные	1 116,4	1 116,4	1 116,4	1 116,4	1 152,4	1 152,4
Теплообменник при свободном охлаждении	134,48	145,2	134,48	145,2	134,48	145,2

Разделение стоимости общего для двух режимов работы системы оборудования (сухие охладители и насосные группы) на нужды свободного и машинного охлаждения выполнено пропорционально продолжительности работы в год этого оборудования в каждом режиме.

По данным табл. 1 и 3 была получена цена холода для каждого из двух режимов охлаждения помещений (табл. 4). Цена найдена в двух вариантах: для владельца установки — только по стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования (в знаменателе), и для потребителя холода. В цену холода для потребителя вошли не только стоимость электроэнергии, но и амортизационные отчисления, так как плата за холод должна окупить все расходы, понесенные на покупку оборудования, присоединение к электросетям.

Полученные средние за сезон значения цены машинного холода несколько выше часто принимаемой величины 1,5 руб./кВт·ч [1] в вариантах с учетом амортизационных отчислений (что отчасти можно объяснить влиянием инфляции). Интересно, что цена 1 кВт·ч холода при свободном охлаждении в рассчитанных вариантах составляет от 0,27 до 0,37 цены холода при машинном охлаждении в случае учета амортизационных отчислений и от 0,355 до 0,405 — без их учета. Причем стабильно при сухом охладителе, подобранным на работу в режиме свободного охлаждения до температуры наружного воздуха +9 °С, цена сама по себе выше и доля, которую она составляет от цены машинного охлаждения, выше, чем для сухого охладителя, работающего до +5 °С. Средняя за сезон цена машинного охлаждения возрастает от того, что до +9 °С работает свободное охлаждение, объясняется отсутствием дешевой выработки холода при низких температурах наружного воздуха. В цене холода свободного охлаждения расходы на присоединение к электросетям не учитывались, так как требуемая электрическая мощность для свободного охлаждения значительно ниже требуемой для работы холодильной машины.

Сравнение совокупных дисконтированных затрат СДЗ выполнялось для круглогодичного обеспечения холодильной нагрузки (свободное и машинное охлаждение в своем диапазоне температур наружного воздуха). Суммарные капитальные и эксплуатационные затраты по вариантам приведены в табл. 3, а кривые изменения СДЗ в течение первых 15 лет срока окупаемости системы на рисунке. Из рисунка видно, что при выборе холодильной машины на обеспечение холодильной нагрузки, определяемой расчетной температурой наружного воздуха теплого периода года от 26 до 32 °С, экономически более выгодным является переход на свободное охлаждение, определяемое размером сухого охладителя, выбранного исходя из покрытия 100 % нагрузки охлаждения конденсатора. Увеличение размеров сухого охладителя нерентабельно. Интересно, что при увеличении расчетной температуры наружного воздуха для подбора холодильной машины разность в СДЗ для вариантов (а, б) уменьшается.

* В числителе дроби указана величина при стоимости электроэнергии 3,04 руб./кВт·ч, в знаменателе — при 4,85 руб./кВт·ч.

Таблица 3

Эксплуатационные и капитальные затраты систем свободного и машинного охлаждения

Система	Затраты	Вариант 1а	Вариант 1б	Вариант 2а	Вариант 2б	Вариант 3а	Вариант 3б
<i>Эксплуатационные затраты</i>							
<i>Эксплуатационные затраты</i>							
Свободное охлаждение	Стоймость электроэнергии, тыс. руб./год*	112,99 / 180,3	211,2 / 336,96	106,57 / 170,0	179,7 / 286,7	113,7 / 181,47	182,0 / 290,4
	Амортизационные отчисления, тыс. руб./год	140,1	246,9	131,47	210,56	166,56	266,29
	Сумма эксплуатационных затрат, тыс. руб./год*	253,09 / 320,4	458,1 / 583,86	238,04 / 301,5	390,3 / 497,3	280,3 / 348,03	448,3 / 556,7
<i>Капитальные затраты</i>							
<i>Капитальные затраты</i>							
Машинное охлаждение	Стоймость электроэнергии, тыс. руб./год*	484,4 / 772,8	376,1 / 600,0	427,5 / 682,0	334,8 / 534,2	444,4 / 708,9	314,8 / 502,2
	Амортизационные отчисления, тыс. руб./год	631,9	624,6	619,67	620,78	761,64	713,99
	Сумма единовременных затрат, тыс. руб./год*	1 116,3 / 1 404,7	1 000,7 / 1 524,6	1 047,2 / 1 301,7	955,6 / 1 155	1 206 / 1 470,6	1 029 / 1 216,2
Свободное и машинное охлаждение	Присоединение к электросетям, тыс. руб.	7 364	7 468	7 256	7 184	9 688	9 160
	Стоймость оборудования, тыс. руб.	5 622,34	5 431,26	5 490,29	5 557,07	6 235,31	5 793,1
	Сумма единовременных затрат, тыс. руб.	12 986,34	12 899,26	12 746,29	12 741,07	15 923,31	14 953,1
<i>Капитальные затраты</i>							
<i>Капитальные затраты</i>							
Свободное и машинное охлаждение	Стоймость электроэнергии, тыс. руб./год*	597 / 953,08	587 / 936,96	534 / 852,02	515 / 820,95	558 / 890,41	497 / 792,65
	Амортизационные отчисления, тыс. руб./год	772,0	871,5	751,14	831,34	928,2	980,28
	Сумма эксплуатационных затрат, тыс. руб./год*	1 369 / 1 725,08	1 458,5 / 1 808,5	1 285,1 / 1 603,2	1 346,3 / 1 652	1 486,2 / 1 818,6	1 477,3 / 1 773
<i>Капитальные затраты</i>							
<i>Капитальные затраты</i>							
Присоединение к электросетям, тыс. руб.	7 364	7 468	7 256	7 184	9 688	9 160	
Стоймость оборудования, тыс. руб.	7 957,3	9 549,2	7 679,7	9 943,7	9 011,3	10 231,2	
Сумма единовременных затрат, тыс. руб.	15 321,3	17 017,2	14 935,7	17 127,7	18 699,3	19 391,2	

Таблица 4
Цена 1 кВт·ч холода, руб., с учетом/без учета амортизационных отчислений

Стоимость электро- энергии, руб./кВт·ч	Система	Варианты					
		1а	1б	2а	2б	3а	3б
3,04	Свободное охлаждение	0,97/0,43	1,14/0,52	0,91/0,41	0,97/0,45	1,07/0,43	1,11/0,45
	Машинное охлаждение	2,74/1,19	3,75/1,41	2,56/1,04	3,56/1,25	2,95/1,09	3,83/1,17
3,13	Свободное охлаждение	0,98/0,44	1,15/0,54	0,92/0,42	0,98/0,46	1,08/0,45	1,13/0,47
	Машинное охлаждение	2,78/1,22	3,79/1,45	2,59/1,08	3,60/1,28	2,98/1,12	3,87/1,21
4,77	Свободное охлаждение	1,21/0,68	1,44/0,82	1,14/0,64	1,22/0,70	1,32/0,68	1,37/0,71
	Машинное охлаждение	3,42/1,87	4,55/2,21	3,15/1,64	4,27/1,96	3,56/1,70	4,50/1,84
4,85	Свободное охлаждение	1,22/0,69	1,45/0,84	1,15/0,65	1,23/0,71	1,33/0,69	1,38/0,72
	Машинное охлаждение	3,45/1,90	4,58/2,25	3,18/1,67	4,30/1,99	3,59/1,73	4,53/1,87

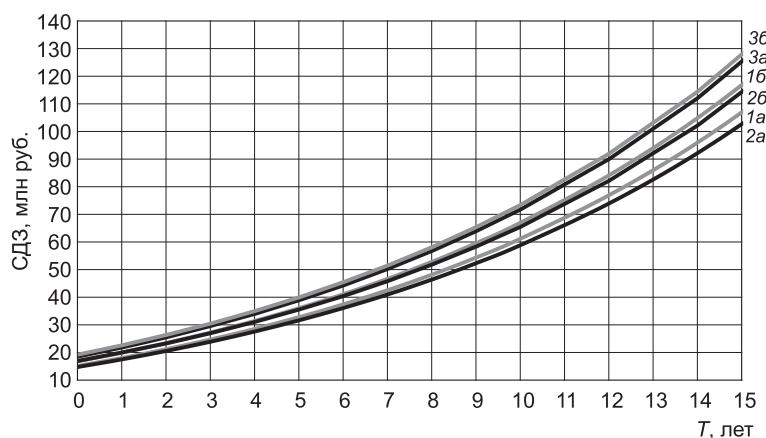


График зависимости СДЗ при последовательной работе в режиме свободного и машинного охлаждения от времени

1а, 1б, 2а, 2б, 3а, 3б — для вариантов соответственно 1а, 1б, 2а, 2б, 3а, 3б

Выводы. 1. Увеличение размеров сухого охладителя невыгодно, так как незначительное увеличение мощности сухих охладителей значительно увеличивает их стоимость. Экономически более выгодным является переход на свободное охлаждение, определяемое размером сухого охладителя, выбранного исходя из покрытия 100 % нагрузки охлаждения конденсатора. Даже при снижении стоимости сухих охладителей увеличение размеров этих аппаратов может также оказаться невыгодным, несмотря на то что большая доля выработки холода придется на свободное охлаждение. При температуре наружного воздуха выше +5 °C свободное охлаждение потребляет энергии больше, чем машинное охлаждение в этом диапазоне температур.

2. В экономических сравнениях нельзя не учитывать стоимость годового потребления электроэнергии системой свободного охлаждения помещений, так как она составляет значительную часть затрат — от 20 до 60 % от стоимости годового потребления электроэнергии системой машинного охлаждения.

3. Следует обратить внимание на то, что из-за высокой стоимости оборудования амортизационные отчисления составляют более 50 % от годовой стоимости электроэнергии и могут достигать 90 % от нее.

Важно и то, что стоимость присоединения к электрическим сетям системы охлаждения здания превосходит стоимость дорогостоящего холодильного оборудования при принятой довольно умеренной для Москвы цене за присоединение в 40 000 руб./кВт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наумов, А.Л. Оценка и роль теплозащиты общественных зданий [Текст] / А.Л. Наумов // АВОК. — 2009. — № 7. — С. 30–36.
2. Малаявина, Е.Г. Расчет энергетически целесообразной температуры наружного воздуха для перехода на свободное охлаждение кондиционируемых помещений [Текст] / Е.Г. Малаявина, А.А. Фролова // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 11–12. — С. 71–78.
3. Гагарин, В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] / В.Г. Гагарин // Строительные материалы. — 2010. — № 3. — С. 8–16.
4. Самарин, О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий [Текст] / О.Д. Самарин // АСВ. — 2011. — 128 с.

МАЛЯВИНА Елена Георгиевна, канд. техн. наук, проф.; E-mail: emal@list.ru
Московский государственный строительный университет
ФРОЛОВА Анастасия Анатольевна, асп.; E-mail: privalova-a@mail.ru
Московский государственный строительный университет

Получено 27.02.13

Malyavina Elena Georgievna, candidate of technical sciences, professor; E-mail: emal@list.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

Frolova Anastasiya Anatolievna, post-graduate student; E-mail: privalova-a@mail.ru, Moscow State University of Civil Engineering, Russia

ECONOMIC COMPARISON OF OPTIONS TRANSITION TO FREE COOLING OF CONDITIONED ROOMS

The purpose of article consists in an economic assessment of transition from free to machine cooling at a different temperature of external air and determination the price of cold at machine and free cooling.

Key words: refrigerator, cooling machine, free cooling, capital investments, operational expenses, the cumulative discounted expenses.

REFERENCES

1. Naumov, A.L. Assessment and role of thermal protection of public buildings [Text] / A.L. Naumov // AVOK. — 2009. — N 7. — P. 30–36.
2. Malyavina, E.G. Calculation of energetically expediency external air temperature for transition to free cooling of conditioned rooms [Text] / E.G. Malyavina, A.A. Frolova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 11–12. — P. 71–78.
3. Gagarin, V.G. Macroeconomic aspects of justification of energy saving actions at increase of a heat-shielding of protecting designs of buildings [Text] / V.G. Gagarin // Construction materials. — 2010. — N 3. — P. 8–16.
4. Samarin, O.D. Economy questions in providing a microclimate of buildings [Text] / O.D. Samarin // ASV. — 2011. — 128 p.

УДК 628.152

Е.М. ГАЛЬПЕРИН

О НАДЕЖНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ГОРОДА

Рассмотрено положение о проектировании водопроводной сети города, отмечается неполнота требований к надежности водопроводной сети в действующем СНиПе. На основе анализа математической модели функционирования водопроводной сети предложено дополнить существующие в СНиПе надежностные требования интервальными показателями:

- средним в течение года временем функционирования водопроводной сети с нормальным уровнем качества функционирования;
- средним в течение года временем функционирования водопроводной сети с пониженным до определенного предела по сравнению с нормальным уровнем качества функционирования.

Ключевые слова: водопроводная сеть, показатели надежности, математическая модель функционирования.

С первых шагов создания и развития городской водопроводной сети вопросам надежности водоподачи уделялось большое внимание. Очевидно, что кольцевая структура сети более надежная, чем тупиковая или разветвленная, что сокращение времени восстановления трубопровода после аварии увеличивает надежность функционирования и т.д. Эти ясные и четкие мероприятия по увеличению надежности водоснабжения были включены в требования по проектированию водопроводных сетей в первые редакции СНиПа и далее повторялись при последующих его переизданиях.

С появлением теории надежности во второй половине прошлого века ее аппарат привлек внимание специалистов по водоснабжению с целью использования его для повышения надежности, в первую очередь водопроводной сети как наиболее ненадежной части водопроводной системы. Один из важнейших вопросов — определение показателей надежности водопроводной сети.

«На практике часто встречаются попытки (как правило, неудачные) использовать для оценки надежности сложных систем показатели, заимствованные из теории надежности «простых» систем. Такими показателями обычно служат «среднее время безотказной работы системы», «вероятность безотказной работы системы в течение заданного интервала времени» и некоторые другие. Эти показатели учитывают лишь факт появления или отсутствия отказов в элементах системы и не дают никакого представления о влиянии отказов на конечный эффект функционирования сложной системы, поскольку сложная система может выполнять свою задачу, даже если некоторые ее элементы отказали» [1].

Подобная практика наблюдается и при поиске показателя надежности водопроводной сети в большинстве публикаций. Так, например, предлагаются расчетные и нормативные «вероятности безотказной работы системы»¹, а среди показателей, характеризующих уровень надежности

¹ Ле Лонг. Оптимизация систем водоснабжения СРВ на надежность: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1984.

трубопроводов, упоминаются «вероятность безотказной работы трубопроводов за заданный промежуток эксплуатации» и «среднее время безотказной работы (наработка между отказами)»².

Бессспорно, водопроводная сеть относится к сложной технической системе (СТС) и это должно учитываться при выборе ее показателей надежности.

Математическая модель сложной технической системы предложена в [2]. Согласно этой модели функционирование СТС протекает в пространстве, каждая точка которого представляет одно из возможных состояний объекта. В процессе работы система переходит из одного состояния в другое, образуя траекторию движения в пространстве состояний. Траектория движения включает в себя все состояния, в которых может пребывать объект.

Каждое состояние характеризуется набором параметров R . При 100%-ном выполнении своей задачи набор параметров R^0 , значения которых должны фиксироваться в нормативных документах или в технических заданиях на проектирование. При возникновении в объекте неисправности он может оставаться в работоспособном состоянии или перейти в неработоспособное состояние. В первом случае объект может выполнить свои функции менее чем на 100 %, но снижение уровня качества функционирования в нем допускается до некоторого предела, определяемого набором параметров R_{\min}^0 , которые также должны фиксироваться в нормативных документах или в технических заданиях на проектирование. Во втором случае при переходе в неработоспособное состояние $R < R_{\min}^0$, т.е. параметры состояния ниже допустимого минимального уровня.

Все множество состояний объекта может быть разбито на три подмножества. Если параметры состояния $R \in R^0$, то такое состояние относится к подмножеству H , в которое попадают все состояния с нормальным уровнем качества функционирования. Если $R^0 > R \geq R_{\min}^0$, то состояние с параметрами R относится к подмножеству C , в котором сосредоточены работоспособные состояния, но с несколько пониженным по сравнению с нормальным уровнем качества функционирования. Все состояния, не вошедшие в подмножества H и C , образуют подмножество A , в котором собраны все неработоспособные, отказовые состояния.

В процессе эксплуатации траектория движения водопроводной сети может проходить через любое из подмножеств. Время нахождения в подмножестве H обозначаем через T_H , время нахождения в подмножестве C через T_C , время нахождения в подмножестве A – T_A . Очевидно, что в течение года $T_H + T_C + T_A = 1$, или 365 сут. Исходя из стремления обеспечить максимальную необходимую надежность объекта, необходимо создать условия, при которых подавляющую часть времени он пребывал бы в подмножестве H , по возможности наименьшее время проводил бы в подмножестве C и весьма редко попадал бы в подмножество A .

² Храменков С.В. Принципы обеспечения надежности водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 5. Ч. 2.

Состояния неисправной водопроводной сети, в которых отключен участок для ремонта, могут быть следующие:

— во всех узлах свободные напоры равны или больше требуемых, эти состояния относятся к подмножеству H , время нахождения в них относится к периоду T_H ;

— в некоторых или во всех узлах сети свободные напоры ниже требуемых, но выше или равны заданной предельной величине, такие состояния относятся к подмножеству C . Эти состояния в зависимости от того, какой участок отключен, отличают составом узлов, в которых величина свободного напора меньше требуемого. Величина T_C устанавливается для узла, в котором недостаток напора продолжается в течение года самое длительное время;

— в некоторых узлах свободные напоры ниже заданного предельного значения. Эти состояния относятся к подмножеству T_A .

В действующем нормативном документе [3] в качестве параметров состояния водопроводной сети R^0 приняты величины напора и расхода в сети. Нормальное нормированное значение напора зависит от этажности застройки, а расхода — от количества водопотребителей, их нормы, режима водопотребления и ряда местных особенностей. Минимальное допустимое нормированное значение напора устанавливается абсолютной величиной (10 м), а расхода — относительной (размер снижения не более 25 % от нормального).

Такие параметры надежности функционирования, как T_H , T_C или T_A в существующем нормативном документе отсутствуют, что является его существенным недостатком. В стандарте³ содержится перечень требований, которым должен отвечать комплекс показателей надежности.

Перечень этих требований следующий:

— **эффективность** — состоит в том, что выбираемые показатели должны входить в общую оценку эффективности функционирования объектов, в частности, они должны дать возможность расчета надежности системы;

— **независимость** — означает исключение избыточности в двух или более показателях надежности, вошедших в комплекс;

— **подтверждаемость** — должны нормироваться только те показатели, которые могут быть подтверждены доступными средствами;

— **полнота** — состоит в том, что комплекс показателей должен отражать все действия и события, производимые или происходящие с объектами, причем вид действий и событий должен быть точно определен;

— **практичность** — в соответствии с этим принципом номенклатура показателей надежности должна позволять организовывать оптимальную эксплуатацию, планировать потребность в запасных частях, рассчитывать экономический эффект от повышения надежности объекта.

В существующем СНиПе 2.04.02-84* (СП 31.13330.2012) нормальная работа водопроводной сети предполагается при ее полной исправности, при выключении участка допускается понижение свободного напора до 10 м и уменьшение расчетного расхода до 25 % (§ 11.6). Между тем в полностью исправном состоянии водопроводная сеть практически не бывает⁴.

³ Стандарт СЭВ 292-76. Надежность в технике. Основные термины и определения. М., 1977.

⁴ Гальперин Е.М. Проектирование в условиях функционирования городских водопроводных сетей // Коммунальный комплекс России. 2012. № 11-12.

Надежностные требования в [1] не обладают полнотой, так как в них не отражены действия и события, связанные с неисправными состояниями водопроводной сети, в которых фактически она существует.

Определим среднее время в течение года нахождения водопроводной сети в исправном и неисправных состояниях. Для этого воспользуемся аппаратом марковского случайного процесса с непрерывным временем и дискретными состояниями. Из системы дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова для вероятностей состояний при $t \rightarrow \infty$ получаем систему алгебраических уравнений для финальных вероятностей, которые физически представляют собой среднее время нахождения водопроводной сети в этих состояниях⁵. Учитывая невысокую достоверность значений каждого из параметров потока отказов λ_i и восстановления μ_i , можно принять их одинаковыми и равными соответственно $\lambda = \frac{1}{t_{без}}$ и $\mu = \frac{1}{t_{рем}}$,

где $t_{без}$ — время функционирования водопроводной сети между двумя последовательными отказами, $t_{рем}$ — время ремонта или восстановления.

В случае схемы «гибели и размножения» получены в явном виде аналитические выражения для определения T_0 — среднего времени нахождения водопроводной сети в исправном состоянии и T_k — среднего времени нахождения водопроводной сети в состоянии с k одновременно неисправными трубопроводами [4]:

при $1 \leq k \leq r$

$$T_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot T_0, \quad (1)$$

при $r \leq k \leq n$

$$T_k = \frac{n!}{r^{k-r} \cdot r!(n-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot T_0, \quad (2)$$

$$T_0 = \left[\sum_{k=0}^1 \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \sum_{k=r+1}^n \frac{n!}{r^{k-r} \cdot r!(n-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \right]^{-1}. \quad (3)$$

В частности, при $r = 1$ для $1 \leq k \leq n$:

$$T_k = \frac{n!}{(n-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot T_0, \quad (4)$$

$$T_0 = \left[\sum_{k=0}^n \frac{n!}{(n-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \right]^{-1}, \quad (5)$$

где n — длина водопроводной сети, км; r — количество ремонтных бригад; λ — параметр потока отказов; μ — параметр потока восстановления.

Согласно нормам МЖКХ РФ одна бригада в 5–6 человек обслуживает 50 км трубопроводной сети. В таблице представлены

⁵ Вентцель Е.С. Исследование операции: Задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980.

результаты расчета по формулам (4), (5) времени нахождения такой сети в течение года в исправном состоянии (T_0), в состояниях с одним неисправным отключенным участком в 1 км (T_1), с двумя (T_2) и тремя одновременно отключенными участками при времени ремонта одни сутки ($\mu = 365 \frac{1}{год}$), двое суток ($\mu = 182,5 \frac{1}{год}$) и трое суток ($\mu = 121,7 \frac{1}{год}$) при $\lambda = 0,5 \frac{1}{км \cdot год}$ и $\lambda = 1 \frac{1}{км \cdot год}$, которые являются крайними значениями диапазона изменения λ в большинстве российских водопроводов.

$\lambda, \frac{1}{км \cdot год}$	$\mu, \frac{1}{год}$	T_0	T_1	T_2	T_3
1,0	365	0,863711	0,118317	0,015884	0,002089
1,0	182,5	0,728936	0,199709	0,053620	0,014103
1,0	121,7	0,595327	0,244588	0,098478	0,038847
0,5	365	0,931888	0,063828	0,004284	0,000282
0,5	182,5	0,863711	0,118317	0,015884	0,002089
0,5	121,7	0,795856	0,163487	0,032912	0,006490

Значение T_0 при отключении для ремонта одного участка можно получить также элементарным расчетом. Например, при $\lambda = 1 \frac{1}{км \cdot год}$ в трубопроводной сети в 50 км произойдет 50 отключений в течение года, если время восстановления или ремонта одни сутки, то в течение года 50 сут водопроводная сеть будет находиться с одним отключенным участком или $\frac{365 - 50}{365} = 0,863$ годового периода.

Согласно данным таблицы при наблюдаемых в реальных условиях параметрах потока отказов и восстановления водопроводная сеть, содержащая 50 км труб, находится в неисправном состоянии от 0,4 до 0,07 годового периода, или от 146 до 26 сут в течение года. С увеличением длины трубопроводов время нахождения водопроводной сети в неисправных состояниях увеличивается.

По данным диспетчерской водопровода г. Самары трубопроводы диаметром 400 мм и выше с суммарной длиной 219,53 км в исправном состоянии находились одни сутки из 180, за это время количество одновременно отключенных участков доходило до семи⁶. Из своего жизненного опыта мы знаем, что городская водопроводная сеть работает относительно надежно. Возникает вопрос, как согласовать приведенные данные с действительностью? Дело в том, что существующие водопроводные сети построены не в соответствии с нормативными требованиями. Если они будут построены в точном соответствии с нормативными требованиями, то окажутся ненадежными в работе и вызовут недовольство и жалобы потребителей. Опытные проектировщики это знают, и диаметры труб принимают существенно больше, чем это требуется технико-экономическим расчетом, создавая тем самым резерв для обеспечения необходимой на-

⁶ Гальперин Е.М. Определение надежности функционирования колецевой водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 6.

дежности водопроводной сети. Подобное положение было известно давно⁷, последующие публикации только подтвердили это. Так, в работе⁸ приведены данные о том, что в 2006 г. $\approx 24\%$ измерений скорости движения воды в трубах водопровода г. Москвы составляли $0,001 - 0,2 \text{ м/с}$, а в $\approx 63\%$ измерений⁹ — не более $0,5 \text{ м/с}$. Объяснять такое положение снижением водопотребления невозможно, так как оно составляет только 30% ¹⁰. Очевидно, при проектировании диаметры трубопроводов преднамеренно увеличивали по сравнению с нормативными требованиями для обеспечения надежности водоснабжения. Существующие в нормативном документе [3] показатели надежности не обладают полнотой, в них отсутствуют такие интервальные показатели, как T_H и T_C . Этот недостаток нормативных требований привел к тому, что водопроводная сеть, запроектированная в полном соответствии со СНиПом, оказывается ненадежной. Неполнота нормативных требований привела к такому положению, когда для обеспечения надежности используют, по сути, единственный вид резервирования — избыточность пропускной способности, в то время как в ряде случаев могут быть использованы более экономичный путь обеспечения надежности посредством резервирования насосного оборудования на насосных станциях (оперативный резерв насосов), временное резервирование и т.д.

Отсутствие полноты надежности требований в нормативном документе не позволяет сформулировать в нем требования к физически ясному и четкому уровню надежности проектируемой водопроводной сети. Это обстоятельство способствовало появлению существующей практики резервирования без учета эффективности капитальных средств, затрачиваемых на создание резерва.

В апреле 2008 г. Министерство регионального развития РФ выпустило приказ № 48 «Об утверждении Методики проведения мониторинга выполнения производственных и инвестиционных программ организаций коммунального комплекса». К приказу приложена Методика проведения мониторинга. В Приложении 1 Методики приведены «Показатели и индикаторы для проведения мониторинга выполнения производственных и инвестиционных программ в сфере водоснабжения». Среди показателей инвестиционных программ для оценки надежности водоснабжения присутствуют такие «продолжительность отключения потребителей от представления товаров (услуг), часов» (п.п. 2.1.2) и «количество часов представления услуг за отчетный период, часов» (п.п. 2.1.3), т.е. аналоги параметрам T_H и $T_C + T_A = 1 - T_H$.

В Методике приведен механизм расчета этих показателей, который вызывает вопросы. Механизмом вычисления индикатора такого показателя, как количество часов представления услуг, служит отношение количества часов представления услуг к количеству дней в отчетном периоде. В предлагаемом отношении числитель и знаменатель имеют разные единицы измерения времени (часы и дни). При такой постановке непонятно, что

⁷ Гальперин Е.М. Методика расчета кольцевых СПРВ и соответствующие разделы СНиП 2.04.02–84 не отражают реальность и требование жизни // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 8.

⁸ Шушкевич Е.В. Особенности режима подачи и распределения воды в условиях снижения водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 9. Ч. 1.

⁹ Там же, табл. 3.

¹⁰ Там же, рис. 3.

физически представляет собой это отношение. Если в числителе и знаменателе поставить величины в одинаковых единицах измерения времени, то физически оно будет выражать часть отчетного периода, в течение которого имел место нормальный уровень обеспечения потребителя водой, что абсолютно совпадает с предлагаемым в настоящей статье показателем T_H .

Относительно предлагаемого в Методике показателя продолжительность отключений потребителей от представления услуг рекомендуется такой механизм расчета индикатора, как отношение суммы произведений продолжительности отключений и количества пострадавших потребителей от каждого из этих отключений к численности населения муниципального образования. Физическая суть такого индикатора непонятна, так как в числителе и знаменателе указаны величины, имеющие разные содержания. Для того чтобы содержание величин в числителе и знаменателе было одинаковым, знаменатель следует умножить на продолжительность отчетного периода. В этом случае отношение будет выражать часть потребителей, пострадавших при отключении от водопроводной сети за отчетный период. Если числитель умножить на норму водопотребления, то получим количество недоданной в сеть воды до расчетного значения за отчетный период.

Высказанные замечания к показателям надежности, содержащиеся в приказе № 48 МПР РФ, не понижают важность того, что интервальные показатели надежности в сфере водоснабжения все же появились в официальном документе.

Весьма любопытно, что актуализированная редакция СНиПа [3] не содержит показателей надежности, имеющихся в Методике к приказу № 48 МПР РФ, хотя оба документа утверждены одним и тем же министерством.

Выводы. 1. Необходимо дополнить выпущенный нормативный документ [3] показателями надежности типа T_H и T_C . Процедура таких дополнений в нем предусмотрена.

2. Методика проектирования водопроводной сети должна быть откорректирована с учетом выполнения надежностных расчетов¹¹.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика выбора показателей для оценки надежности сложных технических систем [Текст]. — М. : Изд-во стандартов, 1977.
2. Гнеденко, Б.В. Математические методы теории надежности [Текст] / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев // Серия: Физико-математическая библиотека инженера. — М. : Наука, 1965.
3. СНиП 2.04.02-84* (СП 31.133330.2012). Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]. — М., 2012.
4. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.В. Коваленко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1987.

*ГАЛЬПЕРИН Евгений Моисеевич, канд. техн. наук, проф.
Самарский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено после доработки 27.02.13

Galperin Eugeniy Moiseevich, candidate of technical sciences, professor, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

¹¹ Гальперин Е.М. Надежностные расчеты кольцевых водопроводных сетей // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 8.

ON THE RELIABILITY OF THE DESIGNED WATER DISTRIBUTION NETWORK CITY

The general situation of the design of the city water distribution network, there is incomplete reliability requirements in the existing water supply building Codes. On the analysis of a mathematical model of the functioning of the water distribution network proposed to complement the existing requirements in Codes reliability interval indicators:

- Average during the period of operation, the water supply system with a normal level of quality performance;
- Average during the year time functioning water system with low up to a point, compared with a normal level of functioning quality.

Key words: water supply network, reliability, mathematical model of functioning.

REFERENCES

1. Methods of selecting the indicators to assess the reliability of complex of technical systems [Text]. — M. : Publishing House of Standards, 1977.
 2. Gnedenko, B.V. Mathematical methods of reliability [Text] / B.V. Gnedenko, Yu.K. Belyaev, A.D. Solovyov // Series: Physics and Math Library engineer. — M. : Nauka, 1965.
 3. SN&R 2.04.02-84* (SP 31.133330.2012). Water supply. External networks and facilities [Text]. — M., 2012.
 4. Gnedenko, B.V. Introduction to queuing theory [Text] / B.V. Gnedenko, I.V. Kovalenko. — 2nd ed., Rev. and add. — M. : Nauka, 1987.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.542.001.24

Д.Э. АБРАМЕНКОВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ, А.С. ДЕДОВ, Б.С. ЗЫРЯНОВ

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ УДАРНЫЙ МЕХАНИЗМ ГРУНТОЗАБОРНОГО УСТРОЙСТВА

Рассматривается рабочий процесс пневматического ударного механизма для проходки скважин. Приводятся физико-математическое описание процесса, допущения, ограничения для расчетной схемы.

Ключевые слова: корпус, ударник, наковальня, давление воздуха, температура воздуха, канал впуска, канал выпуска.

Введение. Известен пневмоударный механизм, используемый в грунтозаборном устройстве [1], включающий цилиндрическую полость корпуса, пневмоударный механизм с выпускными отверстиями, воздухоподводящую коробку с предкамерой сетевого воздуха и наковальню корпуса, ударник с золотником в виде ступенчатой трубы с большей ступенью, бесступенчатую трубку для грунтового керна, пропущенную через корпус, ударник и ступенчатую трубку, а ударник разделяет цилиндрическую полость корпуса на выпускную камеру со стороны воздухоподводящей коробки и камеру холостого хода со стороны корпуса и выполнена с боковыми отверстиями и внутренней камерой рабочего хода, связанной со ступенчатой трубкой и установленной с зазором относительно корпуса.

В качестве недостатков механизма следует отметить: внутренняя камера рабочего хода в ударнике периодически, посредством боковых отверстий и зазора между корпусом и ударником, сообщается с камерой холостого хода со стороны наковальни корпуса и из-за сложной системы воздухоподводящих каналов (перепускное окно в ударнике, продольный кольцевой канал значительного объема), обладает значительным местным сопротивлением с низким коэффициентом расхода воздуха и потерей внутренней энергии скатого воздуха для организации необходимого по величине силового импульса холостого хода, что приводит к повышенному расходу воздуха и снижению частоты ударов ударника; функции выпуска воздуха выполняются внутренней камерой рабочего хода в ударнике, что существенно снижает давление воздуха со стороны камеры при организации силового импульса рабочего хода ударника, снижает энергию удара и эффект погружения корпуса пневматического ударного механизма в грунтовую среду.

Подобные недостатки свойственны также пневматическим ударным механизмам [2, 3] и другим механизмам такого типа, представленным в справочном пособии [4].

Авторское предложение. Отмеченные недостатки пневмоударного механизма [1] устраняются, если перекрыть выпускные боковые отвер-

© Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Зырянов Б.С., 2013

стия ударника большей ступенью ступенчатой трубы со стороны внутренней камеры рабочего хода в ударнике и оставить за выпускными отверстиями функции выпуска воздуха из камер холостого хода со стороны наковальни корпуса в выпускную камеру, причем коаксиально с зазором, образующим кольцевой канал между бесступенчатой и ступенчатой трубками, установить дополнительную бесступенчатую воздухоподводящую трубку, соединяющую постоянно предкамеру сетевого воздуха в воздухоподводящей коробке с камерой холостого хода посредством торцевого отверстия трубы со стороны корпуса либо бокового отверстия в стенке трубы с опиранием ее в корпусе.

На рис. 1 схематически показан пневматический ударный механизм грунтозаборника в продольном осевом разрезе, работающий следующим образом.

Сжатый воздух от компрессора поступает через воздухоподводящий рукав в ниппель 1 и далее в предкамеру 2 сетевого воздуха в коробке 3, по кольцевому каналу 4 в ступенчатой трубке 5, кольцевую камеру ступенчатой трубы 6 и внутреннюю кольцевую камеру 7 сетевого воздуха в ударнике 8. Предкамера 2 постоянно сообщена с камерой 10 и давление воздуха в ней поддерживается практически на уровне давления сетевого воздуха.

Одновременно сжатый воздух из предкамеры 2 по кольцевому каналу 11 в дополнительной воздухоподводящей трубке 4, опертой уплотненно в наковальне 12 корпуса 13, и через отверстие 10 в виде круглого сечения либо щели поступает в кольцевую камеру 14 холостого хода, диаметральная площадь которой больше кольцевой диаметральной площади внутренней кольцевой камеры 7.

Под действием разницы сил от давления воздуха со стороны внутренней кольцевой камеры 7 и кольцевой камеры 14 ударник 8 будет перемещаться в сторону, противоположную наковальни 12 корпуса 13 при отсутствии противодавления воздуха со стороны кольцевой камеры 15, постоянно сообщенной посредством выпускных каналов 16 с атмосферой, совершая холостой ход.

По мере перемещения ударника 8 в сторону предкамеры 2 в коробке 3 боковое выпускное отверстие 17 в стенке ударника 8 вскроется большой ступенью 18 ступенчатой трубы 5. Вследствие этого отработавший воздух из кольцевой камеры 14 холостого хода по кольцевому каналу 19 между ударником 8 и стенкой 20 корпуса 13 через выпускное отверстие 17, вскрытое ступенью 18 ступенчатой трубы 5, будет выпускаться в камеру 15 и далее через выпускное отверстие 16 в атмосферу. Ударник 8,

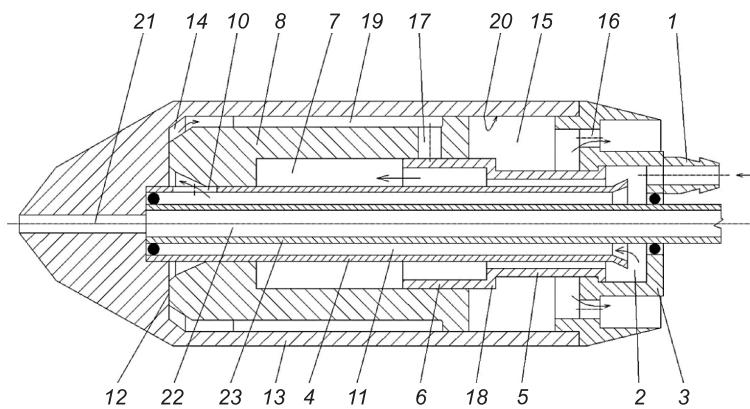


Рис. 1. Пневматический ударный механизм для проходки скважин

исчерпав импульс давления воздуха со стороны кольцевой камеры 14 холостого хода несмотря на некоторое поступление воздуха через канал 10, встречая силу сопротивления от давления воздуха со стороны внутренней кольцевой камеры 7, остановится в расчетной точке и начнет ускоренное движение под действием импульса давления со стороны кольцевой камеры 7 в направлении наковальни 12 корпуса 13, совершая рабочий ход. При движении ударника 8 боковое выпускное отверстие 17 остается перекрытым большей ступенью 18 ступенчатой трубы 5 и в кольцевой камере 14 холостого хода начнется сжатие отсеченного в ней воздуха и воздуха, поступающего через кольцевой канал 11 и впускной канал 10 дополнительной бесступенчатой трубы 4. Преодолевая противодавление воздуха со стороны кольцевой камеры 14, ударник 8 наносит удар по наковальню 12 корпуса 13. Энергия удара ударника 8 передается наковальню 12 корпуса 13, который под ее воздействием будет перемещаться в грунтовой среде с одновременным забором грунта через канал 21 и дальнейшим перемещением по бесступенчатому каналу 22 в трубке 23 в направлении дневной поверхности к месту его приема.

После соударения ударника 8 с наковальней 12 корпуса 13 ударник 8 приобретает импульс отскока, к которому добавляется импульс давления воздуха со стороны кольцевой камеры 14 холостого хода, в результате чего совершается холостой ход бойка и рабочий цикл будет повторяться до прохождения заданного участка забора грунта.

Состояние отобранного грунта будет зависеть от задач его получения и применения известных устройств транспортирования грунта для конкретных целей.

Физико-математическое описание рабочего процесса. Расчетная схема пневматического ударного механизма представлена на рис. 2, где 1 — корпус; 2 — ударник; 3 — ступенчатая трубка; 4 — воздухоподводящая бесступенчатая трубка; 5 — трубка грунтозабора; N — участок, занятый массой ударника; M — габаритный ход ударника; E, B — координаты открытия выпускного канала; L_y — длина ударника; D — координата начала выпуска отработавшего воздуха из камеры холостого хода при взаимодействии с каналом ω_b выпуска. Другие параметры приведены в перечне обозначений к (1)–(4).

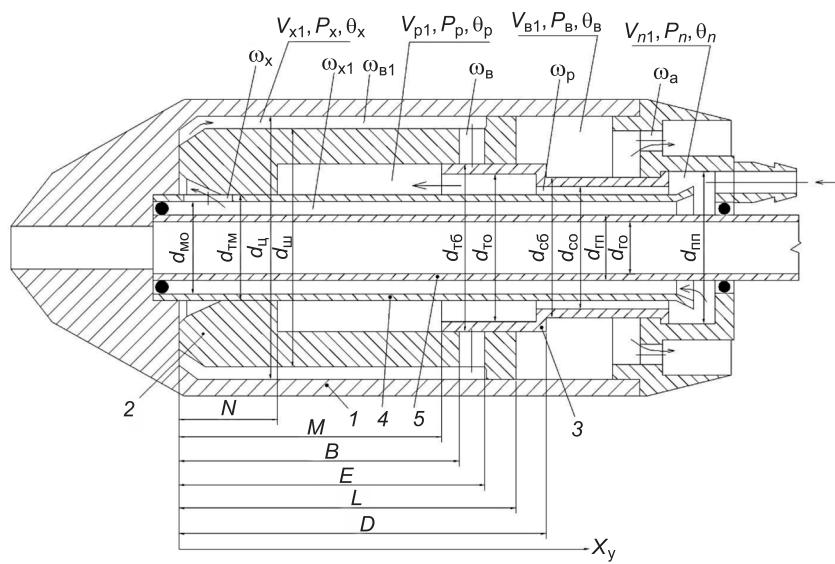


Рис. 2. Расчетная схема пневматического ударного механизма

На расчетной схеме (см. рис. 2) пневматического ударного механизма приведены обозначения, используемые в уравнениях рабочего процесса механизма, представленного физико-математическим описанием (1)–(3). Обозначения имеют следующий физический смысл:

V_p, V_x, V_b, V_n — объемы камер рабочего хода (камеры пневматического буфера), холостого хода, выпуска и предкамеры (сетевого воздуха);

p_p, p_x, p_b, p_n — давление воздуха в объемах камер V_p, V_x, V_b, V_n ;

$\theta_p, \theta_x, \theta_b, \theta_n$ — температура воздуха в объемах камер V_p, V_x, V_b, V_n ;

$\omega_p, \omega_x, \omega_b, \omega_n$ — площади сечения каналов выпуска воздуха в камеры V_p, V_x, V_b, V_n ;

m_y, m_k — масса ударника и корпуса;

$\left(\frac{d^2 x_i}{dt^2}\right)$ — ускорения подвижных масс m_y, m_k ;

$W = (2kR / (k - 1)^{-1})^{1/2}$ — удельный газовый параметр;

k, R — показатель процесса и газовая постоянная;

$\Phi_p, \Phi_x, \Phi_b, \Phi_n$ — бародинамические функции изменения состояния воздуха в объемах V_p, V_x, V_b, V_n ;

$\Omega_p, \Omega_x, \Omega_b, \Omega_n$ — термодинамические функции изменения состояния воздуха в объемах V_p, V_x, V_b, V_n ;

μ_{ab} — площадь сечения канала выпуска в атмосферу;

φ_{ab} — барометрическая функция изменения состояния воздуха при выпуске из объема V_b ;

Ω_{ab} — термодинамическая функция изменения состояния воздуха при выпуске из объема V_b ;

x_y, x_k — перемещения ударника и корпуса;

k_y, k_k — коэффициенты отскока ударника от корпуса и корпуса от ударника;

S_u, S_p, S_w — кольцевые площади сечений, со стороны которых формируется силовой импульс давления воздуха для диаметров d_u, d_p, d_w ;

$\left(\frac{dx_i}{dt}\right)_0, \left(\frac{dx_i}{dt}\right)_y$ — скорости ударника и корпуса после и до соударения;

F_h, F_y, F_k — сила нажатия на корпус и силы трения при перемещении ударника и корпуса;

t — текущее время.

Без учета динамических процессов, связанных с перемещением трубоук, рассматриваются следующие составляющие процесса:

бародинамическая составляющая —

$$\begin{cases} \frac{dp_n}{dt} = \frac{k}{V_n} [W(\omega_n \varphi_n - \omega_p \varphi_p - \omega_x \varphi_x)], \\ \frac{dp_p}{dt} = \frac{k}{V_p - x_y (S_p - S_{tm})} [W(\omega_p \varphi_p) + p_p \frac{dx_y}{dt} (S_p - S_{tm})], \\ \frac{dp_x}{dt} = \frac{k}{V_x + x_y (S_u - S_{tm})} [W(\omega_x \varphi_x - \omega_b (x_y) \varphi_b) - p_x \frac{dx_y}{dt} (S_u - S_{tm})], \\ \frac{dp_b}{dt} = \frac{k}{V_b - x_y (S_u - S_p)} [W(\omega_b (x_y) \varphi_b - \omega_{ab} (x_y) \varphi_{ab}) + p_b \frac{dx_y}{dt} (S_u - S_p)]; \end{cases} \quad (1)$$

термодинамическая составляющая —

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\theta_{\pi}}{dt} = \frac{\theta_{\pi}}{p_{\pi}V_{\pi}} [W(\omega_{\pi}\varphi_{\pi}\Omega_{\pi} - \omega_p\varphi_p\Omega_p - \omega_x\varphi_x\Omega_x)], \\ \frac{d\theta_p}{dt} = \frac{\theta_p}{p_p[V_p - x_y(S_p - S_{tm})]} [W(\omega_p\varphi_p\Omega_p) + (k-1)\frac{x_y}{dt}(S_{\pi} - S_{tm})], \\ \frac{d\theta_x}{dt} = \frac{\theta_x}{p_x[V_x + x_y(S_{\pi} - S_{tm})]} [W(\omega_x\varphi_x\Omega_x - \omega_b(x_y)\varphi_b\Omega_b) - \\ -(k-1)p_x\frac{dx_y}{dt}(S_{\pi} - S_{tm})], \\ \frac{d\theta_b}{dt} = \frac{\theta_b}{p_b[V_b - x_y(S_{\pi} - S_p)]} [W(\omega_b(x_y)\varphi_b\Omega_b - \omega_{ab}(x_y)\varphi_{ab}\Omega_{ab}) + \\ +(k-1)p_b\frac{x_y}{dt}(S_{\pi} - S_p)]; \end{array} \right. \quad (2)$$

баромеханическая составляющая для ударника и корпуса —

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{d^2x_y}{dt^2} = \frac{p_x(S_{\pi} - S_{tm}) - p_p(S_p - S_{tm}) - p_b(S_{\pi} - S_p)}{m_y} & \text{при } x_y > 0, \\ \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_0 = -k_y \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_y & \text{при } x_y \leq 0; \\ \frac{d^2x_k}{dt^2} = \frac{p_x(S_{\pi} - S_{tm}) - p_p(S_p - S_{tm}) - p_b(S_{\pi} - S_p) - F_h}{m_k} & \text{при } x_k > 0, \\ \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_0 = -k_k \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_y & \text{при } x_k \leq 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

Достаточным допущением в (1)–(3) можно принять $p_p = p_{\pi}$, поскольку объем V_p напрямую сообщается с объемом V_{π} .

При более полном учете динамических процессов в пневматическом ударном механизме, представленном на рис. 1 и 2, необходимо учесть баромеханическую составляющую для трубок:

баромеханическая составляющая для подвижных трубок —

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{d^2x_{tb}}{dt^2} = \\ = \frac{p_p(S_{tb} - S_{to}) + p_p(S_{to} - S_{co}) + p_{\pi}(S_{\pi\pi} - S_{c6}) - p_{\pi}(S_{\pi\pi} - S_{po}) - p_b(S_{tb} - S_{c6}) - F_{tb}}{m_{tb}} & \text{при } x_{tb} > 0, \\ \left(\frac{dx_{tb}}{dt} \right)_0 = -k_{tb} \left(\frac{dx_{tb}}{dt} \right)_y & \text{при } x_{tb} \leq 0; \\ \frac{d^2x_{tm}}{dt^2} = \frac{p_x(S_{tm} - S_{mo}) - p_{\pi}(S_{tm} - S_{mo}) - F_{tm}}{m_{tm}} & \text{при } x_{tm} > 0, \\ \left(\frac{dx_{tm}}{dt} \right)_0 = k_{tm} \left(\frac{dx_{tm}}{dt} \right)_y & \text{при } x_{tm} \leq 0. \end{array} \right. \quad (4)$$

Дополнительно в (4) для рабочих площадей трубок введены обозначения:

$S_{\text{тб}}, S_{\text{то}}, S_{\text{тм}}, S_{\text{мо}}, S_{\text{пп}}, S_{\text{по}}, S_{\text{сб}}, S_{\text{ко}}$ — кольцевые площади сечений трубок, участвующих в формировании силовых импульсов давления воздуха для диаметров $d_{\text{тб}}, d_{\text{то}}, d_{\text{тм}}, d_{\text{мо}}, d_{\text{пп}}, d_{\text{по}}, d_{\text{сб}}, d_{\text{ко}}$;

$k_{\text{тб}}, k_{\text{тм}}$ — коэффициенты отскока ступенчатой трубы и бесступенчатой трубы от корпуса;

$F_{\text{тб}}, F_{\text{тм}}$ — силы трения при перемещении ступенчатой и бесступенчатой трубок на площадках контактов с ударником и корпусом;

$\left(\frac{dx_{\text{тб}}}{dt} \right)_0, \left(\frac{dx_{\text{тм}}}{dt} \right)_0$ — скорости ступенчатой и бесступенчатой трубок после соударения с опорой на корпусе;

$\left(\frac{dx_{\text{тб}}}{dt} \right)_y, \left(\frac{dx_{\text{тм}}}{dt} \right)_y$ — скорости ступенчатой и бесступенчатой трубок до соударения с опорой на корпусе;

$m_{\text{тб}}, m_{\text{тм}}, m_{\text{пп}}$ — массы ступенчатой, бесступенчатой трубок и трубы продуктопровода;

$x_{\text{тб}}, x_{\text{тм}}$ — перемещения ступенчатой и бесступенчатой трубок;

$\left(\frac{d^2x_{\text{тб}}}{dt^2} \right), \left(\frac{d^2x_{\text{тм}}}{dt^2} \right)$ — ускорения перемещения ступенчатой и бесступенчатой трубок.

При закреплении трубок относительно корпуса баромеханическая составляющая (4) не вводится в расчет и моделирование, но масса корпуса увеличивается в (3) и вместо m_k принимается $(m_k + m_{\text{бм}} + m_{\text{тм}} + m_{\text{пп}})$.

При опускании из рассмотрения (4) общий расчет и моделирование существенно упрощаются.

Баро- и термодинамические функции имеют вид:
для функций перетечек, утечек, впуска и выпуска —

$$\Phi_{ij} \equiv \Phi_{ji} = \begin{cases} 0,5283 > p_i / p_j & p_i \sqrt{\theta_i} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq p_i / p_j & p_i \sqrt{\theta_i} \cdot \sqrt{(p_i / p_j)^{2/k} - (p_i / p_j)^{(k+1)/k}}, \\ 0,5283 > p_j / p_i & -p_j \sqrt{\theta_j} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq p_j / p_i & -p_j \sqrt{\theta_j} \cdot \sqrt{(p_j / p_i)^{2/k} - (p_j / p_i)^{(k+1)/k}}; \end{cases} \quad (5)$$

$$\Omega_{ij} \equiv \Omega_{ji} = \begin{cases} \Phi_{ij} > 0 & k - (\theta_i / \theta_j), \\ \Phi_{ij} \leq 0 & k - 1, \\ \Phi_{ji} \leq 0 & k - (\theta_j / \theta_i), \\ \Phi_{ji} > 0 & k - 1. \end{cases} \quad (6)$$

Ограничения для координат выпуска ω :

$$\omega_B(x_y) = \begin{cases} x_y = 0 & \omega_B = 0, \\ B < (x_y + L_y) < D & \omega_B = 0, \\ B > (x_y + L_y) \geq D & \omega_B = \max \omega_B = (E - B)B. \end{cases} \quad (7)$$

$$\max x_y \leq M - N.$$

Допущения для толщины стенок трубок, ударника и корпуса:

$$\delta_1 = d_{\text{тм}} - d_{\text{мо}}, \quad \delta_2 = d_{\text{тм}} - d_{\text{то}}, \quad \delta_3 = d_{\text{тб}} - d_{\text{то}}, \quad \delta_4 = d_{\text{сб}} - d_{\text{со}}, \\ \delta_5 = d_{\text{пп}} - d_{\text{со}}, \quad \delta_6 = d_{\text{ц}} - d_{\text{ш}}.$$

Можно принять для начальных исследований равенство

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = \delta_6 = \text{const}.$$

Кольцевые рабочие площади в (1)–(4):

$$S_p = S_{\text{тб}} = \frac{\pi}{4}(d_{\text{тб}}^2 - d_{\text{тм}}^2), \quad S_x = \frac{\pi}{4}(d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{тм}}^2), \quad S_b = \frac{\pi}{4}(d_{\text{ц}}^2 - d_{\text{тб}}^2).$$

Допущения для дросселей впуска и выпуска:

$$\omega_p = \text{const}, \quad \omega_x = \text{const}, \quad \omega_a = \text{const}, \quad \omega_b = \omega_b(x_y)\phi_b.$$

Уравнения (1)–(4) не содержат условий утечек и перетечек, обусловленных зазорами между подвижными контактирующими парами ударник — корпус, бесступенчатая трубка — корпус, ступенчатая трубка — ударник и ступенчатая трубка — корпус. Утечки и перетечки могут быть учтены для (dp_i/dt) в виде сумм $(\text{sign}(\varepsilon_i \varphi_i)), (\text{sign}(\psi_i \varphi_i))$ и для $(d\theta_i/dt) - (\text{sign}(\varepsilon_i \varphi_i \Omega_i)), (\text{sign}(\psi_i \varphi_i \Omega_i))$, где ε_i, φ_i — площадки кольцевого зазора между контактирующими парами для утечек и перетечек; φ_i, Ω_i — бародинамическая и термодинамическая функции изменения состояния воздуха в зазорах между подвижными парами. Величины φ_i, θ_i принимаются в зависимости от состояния воздуха в объемах V_p, V_x, V_b и V_n при $\varepsilon_i = \text{const}$ и $\psi_i = \text{const}$.

Перетечки и утечки можно отнести к началу или концу эксплуатации машины ударного действия, поскольку зазоры во взаимодействующих парах трения постоянно меняются. К тому же учет перетечек и утечек существенно усложняет и приводит к увеличению времени счета на предварительном этапе исследований.

Для получения правдоподобного решения системы, состоящей из (1)–(3) и суждения о процессе, как близком к реальному, достаточно учитывать впуск воздуха в камеру рабочего и холостого ходов непосредственно из сети с варьированием значения давления воздуха на входе каналов впуска и выпуска.

Отметим, что система, состоящая из (1)–(4), позволяет рассматривать два случая: $x_{\text{тб}} = 0, x_{\text{тм}} = 0$ и $x_{\text{тб}} \neq 0, x_{\text{тм}} \neq 0$.

Для упрощения расчетов и моделирования можно принять условия при $x_{\text{тб}} = 0$ и $x_{\text{тм}} = 0$, что обеспечивается конструктивным решением, которое не изменяет параметров обеспечения рабочего процесса, поскольку диаметральное проходное сечение канала впуска и выпуска, а следовательно, и расход воздуха сохраняют свои характеристики.

Выводы. 1. Уравнения, описывающие рабочий процесс по давлению и температуре воздуха в камерах пневматического ударного механизма, удобны по форме записи и позволяют без описания координат начала и окончания впуска и выпуска при согласовании с принципиальной схемой ориентироваться и прогнозировать качество протекаемых процессов в дросселях (каналах) системы воздухораспределения.

2. Представляет теоретический и практический интерес использование в пневматическом ударном механизме замкнутой камеры пневматического буфера, исполняющей функции камеры рабочего хода, из которой выпуск отработавшего воздуха не производится.

3. Выпуск отработавшего воздуха осуществляется периодически только из камеры холостого хода при впуске посредством постоянно открытого дросселя (канала).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 614162 СССР. Грунтозаборное устройство [Текст] / Е.И. Танов, Р.А. Исмаилов. — Опубл. в БИ. — 1978. — № 25.
2. Pat. 3410354 USA. Impact device for driving horizontal holes in soft ground [Текст] / B.V. Sudnichnikov, K.K. Tupsyn, K.S. Gurkov. — Publ. 1968.
3. Pat. 1000310 Dents. Mit Drucklnft betriebene Bohreinrichtung insbesondere für Tiefbohrungen [Текст] / W. Herbold, W. Seipel. — Publ. 1957.
4. А б р а м е н к о в , Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дробильные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные: Справ. пособие [Текст] / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. — Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1993. — 430 с.

АБРАМЕНКОВ Дмитрий Эдуардович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

АБРАМЕНКОВ Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ДЕДОВ Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, ст. препод.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЗЫРЯНОВ Борис Сергеевич, инж.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 22.02.13

Abramenkov Dmitry Eduardovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Abramenkov Eduard Alexandrovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Dedov Aleksey Sergeevich, candidate of technical sciences, senior lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Zyryanov Boris Sergeevich, engineer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

PNEUMATIC HAMMER MECHANISM DREDGE DEVICES

We consider workflow pneumatic impact mechanism for sinking wells. Provides physical and mathematical description of the process, assumptions, limitations to the design scheme.

Key words: case, the drummer, the anvil, the air pressure, air temperature, feed intake, feed production.

REFERENCES

1. A.s. 614162 USSR. Soil-device [Text] / E.I. Tanov, R.A. Ismailov. — Publ. BI. — 1978. — N 25.
2. Pat. 3410354 USA. Impact device for driving horizontal holes in soft ground [Text] / V.V. Sudnichnikov, K.K. Tupsyn, K.S. Gurkov. — Publ. 1968.
3. Pat. 1000310 Dents. Mit Drucklnft betriebene Bohreinrichtung insbesondere fur Tiefbohrungen [Text] / W. Herbold, W. Seipel. — Publ. 1957.
4. А б р а м е н к о в , Е.А. Pneumatic mechanism of actionshockmachines: throttle, jet, without plunger, without valve: Ref. allowance [Text] / Е.А. Abramenkov, D.E. Abramenkov. — Novosibirsk : Publishing House of Novosibirsk / University Press, 1993. — 430 p.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.4–168

П.Ф. СЛАКОВ

К ВОПРОСУ О ЭКОЛОГО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДОВ. РЕГЛАМЕНТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛЬНОСТЬ

Рассмотрены требования, предъявленные к качеству жизни в городах к концу XX — началу XXI в. Проанализирован СНиП-2.07.01-89 «Планировка и застройка городских и сельских поселений», СанПиН 2.1.2.1002-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям», Экологическая доктрина Российской Федерации с точки зрения некоторых представлений о эколого-ориентированной реконструкции городов.

Ключевые слова: нормы и правила, регламенты, эколого-ориентированная реконструкция городов.

В ХХ в. градостроительство было преимущественно направлено на упорядочение плохо управляемого развития городов, связанного с ростом промышленного производства и транспортных систем. Для этих целей разрабатываются новые планировочные модели: линейный город (Н.А. Милютин, 1930 г. и др.), метаболический город (К. Курасава, 1977 г.), поликентрический город (В.А. Лавров, 1961 г.), структурный город на основе микрорайонирования (К. Перри, А.А. Галактионов и др., 1911–1986 гг.) и т.д.

В Российской Федерации последовательно было принято несколько регламентирующих градостроительное проектирование нормативов. Последняя версия централизованной системы градостроительства советского периода СНиП-2.07.01-89 «Планировка и застройка городских и сельских поселений»¹ была составлена с учетом основных требований времени его создания и опиралась на более чем полувековой опыт страны и частично совпадает с историческим эмпирическим рационализмом строительства градообразований [1]. Безусловно, в процессе роста городов и развития технологий строительные нормы и правила подвергались изменениям. Они четко регламентируют обязательное формирование в городах и населенных пунктах единых социальных, производственных, инженерно-транспортных и других инфраструктур. Данные требования подчеркивают саму важность неразрывности и взаимосвязанности основных функциональных элементов и структурных частей любого города. История развития крупных городов изобилует примерами, когда нарушение

¹ Госкомархитектуры ЦНИИП градостроительства утвержден Постановлением Госстроя СССР от 13 июля 1990 г., актуализирован приказом Министерства архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 23 декабря 1992 г. № 269, Постановлением Госстроя России от 25 августа 1993 г. № 18–32.

социальных связей, накопление инженерно-транспортных проблем, а также неконтролируемое чрезмерное разрастание территорий препятствуют дальнейшему логическому развитию города.

Требования к качеству жизни в городах к концу XX — началу XXI в. многократно возросли, в мировой и отечественный опыт градостроительства прочно вошли доктрина устойчивого развития, идеи биосферовместимого города, связанные с ландшафтно-экологическим подходом к реконструкции городов и методами «экопланирования» развития населенных пунктов. В данной связи следует предположить, что эти же стратегии будут также важны в эколого-ориентированной реконструкции городов в будущем.

Нормативные документы настоящего времени рекомендуют предусматривать рациональную очередь развития поселений, определять перспективы развития за пределами расчетного срока и необходимость выбирать территорию с учетом возможности ее рационального функционального использования. Данную рекомендацию можно давать как основу для устойчивого развития территорий только с некоторой долей условности, потому что ни один проект не дает гарантии его точного воплощения и соответственно в целом не ведет к достижению проектируемого качества среды городов.

Требования, предъявляемые к качеству жизни в городах к концу ХХ в., выходят за рамки СНиП-2.07.01-89. Необходимо не только учитывать предельно допустимые нагрузки на окружающую среду, рационально использовать территории и природные ресурсы, не допускать разрушения естественных экосистем, а также развернуть стратегию развития крупных городов если не на восстановление природных ресурсов, то как минимум на сокращение их использования. Эти требования содержатся в федеральных документах стратегического значения² и требуют научно-прикладной разработки.

В связи со сказанным следует обратиться к традиционному опыту существования градостроительной культуры и природного комплекса. Современные города обладают значительными ареалами исторической застройки, которая среди жителей очень часто ассоциируется с неблагоприятными явлениями: криминогенностью, антисанитарией и т.п. Но справедливо предположить, что именно сложившиеся традиционные методы строительства городов обеспечивали «вписание» населенных мест в естественную среду, историческая застройка несет в себе наследственное почитание и архитектурно-пространственное осмысление «духа-места». В основе формирования русских поселений, согласно исследованию И.А. Бондаренко, лежала постепенная адаптация человека к окружающей среде, при небольшом дополнении ее отдельными необходимыми элементами [2]. Города формировались на основе здравого смысла и опыта проб и ошибок предыдущих поколений строителей. Поэтому к эколого-ориентированной реконструкции крупных промышленных городов нужно подойти, следя не только современным нормам и правилам проектирования и строительства, но и опираясь на знания традиций отечественного градостроительства и вписывания антропогенной среды поселения в среду природную, в том числе и с позиции новых представлений о качестве жизни, биосферной совместимости. С данной точки зрения исторические территории необходимо сохранять, облагораживать, пропагандировать среди населения всю важность их места проживания.

На сегодняшний день сибирские города имеют локальные территории сохранившейся малоэтажной застройки. Этому способствовало развитие

² Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.



Рис. 1. Первые многоэтажные жилые строения в реконструкции исторического района Николаевка в Октябрьском районе г. Красноярска

железной дороги, вдоль которой возникали малые населенные пункты и последовавшее за этим бурное промышленное развитие городов. Городская структура развивалась по свободным и удобным площадям, «поглощая и перешагивая» существующую малоэтажную застройку, заполняя территории, пригодные для строительства. Масштабная перестройка ареалов индивидуального домостроения привела к тому, что на рубеже XX и XXI вв. малоэтажная застройка сохранилась в местах со сложными грунтовыми условиями, в том числе в руслах малых рек, что совпадает с требованиями СНиП-2.07.01-89. Так, размещение индивидуального строительства в пределах городской черты разрешено преимущественно на свободных территориях, непригодных для масштабного строительства, например, со сложным рельефом. В настоящее время в границах города практически нет свободных территорий под новое строительство, в результате застройщики постепенно заходят на территории исторически сохранившейся малоэтажной застройки, точечно строятся многоэтажные сооружения, без оглядки на вопросы архитектурной и функциональной согласованности в среде города (рис. 1).

Согласно СанПиН 2.1.2.1002-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям» (от 01.07.2001) допускается размещать жилые здания в жилой, зеленой, курортной и рекреационной зонах в соответствии с функциональным зонированием населенных пунктов [3]. Однако данный нормативный документ не рассматривает существующие экосистемы на планируемых участках застройки, более того, не обязывает застройщиков считаться с существующим «биоразнообразием» зеленых, курортных и рекреационных зон, что противоречит экологической доктрине Российской Федерации³, обязывающей считать сохранение природы и улучшение окружающей среды приоритетными направлениями деятельности государства и общества. Таким образом, природная среда должна быть включена в систему социально-экономических отношений как ценнейший компонент национального достояния. Для

³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р.

этих целей должны быть разработаны регламенты, обязывающие проектировщиков, строителей обеспечивать условия существования антропогенных систем и естественных экосистем.

Исходя из вышесказанного, практика точечной застройки в ареалах частных малоэтажных домов и вблизи водных объектов общего пользования должна быть подвергнута критике. Отсутствие комплексного подхода к реконструкции городских территорий недопустимо, поскольку качество жизни не определяется только наличием и размером жилой площади. Необходимо повышать качество всех сфер жизнедеятельности населения, включая органичное существование со всеми естественными экосистемами города.

На территориях, ранее не пригодных для строительства, вместо создания рекреационных зон и восстановления или сохранения существующих экосистем появляются крупные архитектурные объекты, например, торгово-развлекательные центры. Это является прямым нарушением водного кодекса РФ, согласно которому полоса земли вдоль береговой линии водного объекта предназначается для общего пользования. С другой стороны, Водный кодекс содержит более чем формальные нормы для водоохраных зон. Так, ширина береговой полосы водных объектов общего пользования должна составлять 20 м. Для береговой полосы каналов, рек и ручьев, протяженность которых от истока до устья не более 10 км, ширина водоохранной зоны установлена в 5 м. В действительности экосистема каждого водного объекта индивидуальна, ее территориальная целостность не может быть измерена столь прямолинейным методом. Каждое русло реки обладает естественными дамбами, пологими и крутыми берегами, речными террасами различной конфигурации, где «проживают» представители аборигенного «биоразнообразия», сохраняющие режим и чистоту вод. Особенной «экологической чувствительностью» обладают малые реки и ручьи. При крупномасштабном строительстве они, как правило, теряют свои природные качества или исчезают, что в целом ведет к нарушениям гидрологической сети и как следствие к подтоплениям, разрушениям застройки, удорожанию строительства и реконструкции и т.д. (рис. 2).



Рис. 2. Торгово-развлекательный центр «Огни» в дельте р. Качи на насыпных грунтах (г. Красноярск)

Стратегической целью государственной политики в области экологии является сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития общества, повышения качества жизни, улучшения здоровья населения и демографической ситуации, обеспечения экологической безопасности страны. Экологическая доступность в соответствии с данным документом заключается в обеспечении рационального природопользования и равноправного доступа к природным ресурсам ныне живущих и будущих поколений людей. В мировой практике градостроительства широко утвердился принцип «сообщества сообществ» — бережное сохранение в урбанизированной среде биологических видов данного региона, что не характерно для российской практики.

В сложившейся ситуации можно найти довольно четкое объяснение все в том же СНиП-2.07.01-89 — этажность застройки определяется на основе технико-экономических расчетов с учетом архитектурно-композиционных, социально-бытовых требований. Можно сделать вывод, что экономическая составляющая является первоочередным и наиболее важным аспектом при проектировании жилой застройки. Для нормального развития города главным должно быть выполнение требований сбалансированных материально-пространственных решений социально-бытовых и архитектурно-композиционных задач.

В Российской Федерации нормативные документы регламентируют параметры среды и возможность строительства тех или иных объектов на данной территории и не более того, во многих зарубежных странах нормативные документы регламентируют необходимый минимум построек на данной территории, который любой застройщик обязан перевыполнить. Например, в США, Германии, Китае при получении земельного участка под строительство застройщик обязан предоставить площади первых этажей для нужд города, учитывать транспортную нагрузку района строительства, обеспечить сохранность окружающей среды и сложившихся экосистем и выполнять действующие нормативные локальные акты в добавление к федеральным.

Районы типовой застройки 1950–1970-х гг. строительства вписывались в ландшафт с минимальными изменениями последнего и с точки зрения энергосбережения конструктивно минималистских жилых зданий. Особенно отчетливо это можно наблюдать в жилых районах, расположенных на возвышенностях, строения в которых размещены длинной стороной вдоль существующего уклона, а короткой (торцевой) стороной обращены к направлению ветра. Для лучшего естественного освещения внутри помещения также учитывались требования инсоляции и ориентация объекта по странам света. При этом рисунок плана жилого района приобретал «свободную форму». С позиции современного представления об экологически-ориентированных требованиях данный аспект строительных норм и правил представляет определенный интерес и на сегодняшний день.

При всех положительных качествах сформированной среды (озелененные пространства, сложившиеся социальные связи, пешеходная доступность дошкольных территорий и их изолированность от транспорта) минималистские жилые дома нельзя назвать произведением архитектуры, но в них согласно некой исторической системе традиционных ценностей был заложен здравый смысл. В застройке социалистического периода был сохранен важный элемент жизни общества — общинность, поддерживаемая



Рис. 3. Жилые группы районов Johannstadt в Дрездене после реконструкции. Германия



Рис. 4. Жилые группы района Gorbitz в Дрездене (Германия). Городские виллы с понижением плотности населения, увеличением площади квартир и устройством собственных садиков жителей первого этажа

наличием общего двора и расселением людей ведомственным образом. В настоящее время ведомственное расселение отсутствует, но достичь высокого уровня качества жизни без крепких социальных связей неосуществимо. Поэтому стратегические федеральные задачи создания гражданского общества и самоуправления с точки зрения организации жилой среды становятся более чем актуальными.

В качестве примера можно привести реконструкцию жилой среды пятиэтажных районов социалистического периода в Дрездене (Германия). Районы Johannstadt, Gorbitz возведены в конце 60-х — начале 70-х гг. прошлого века и реконструированы с пересмотром принципов застройки — разбиты на кластеры-архетипы. Это городские виллы⁴ с понижением плотности населения, увеличением площади квартир и устройством собственных садиков жителей первого этажа (Gorbitz); локусы с незначительным изменением планировки для жителей со средним доходом и жилые группы, претерпевшие ремонт для жителей с невысоким уровнем дохода (Johannstadt) [4]. Они объединены общим центром, пешеходными зелеными связями, восстановленной длиной ручья и территориями школ и детских садов. Процесс реконструкции района проходил с широким участием проживающих в нем граждан (рис. 3, 4).

Планировочная структура города согласно нормативным документам должна формироваться, обеспечивая компактное размещение и взаимо-

⁴ В проектной документации реконструкции микрорайона Gorbitz один из кластеров получил название «городские виллы» ввиду того, что многосемейные жилые дома были разделены вертикально на отдельные домовладения, с персональным входом. Владельцам были отведены земельные участки перед входом в собственное жилое помещение.

связь функциональных зон. В быстроизменяющемся мире в постиндустриальный период развития крупных городов понятие компактности рассматривается во взаимосвязи и за счет оптимизации мобильности и доступности — транспортной, социальной, экологической, экономической и информационной. Эти шесть аспектов постоянно взаимодействуют и неразрывно взаимосвязаны.

Современный город развивается поликентрично, поэтому для достижения доступности и мобильности для города в целом необходимо добиваться локальной компактности и плотности в его подцентрах, районах.

Высокая мобильность определяет способность жителей города охватить большое количество пунктов назначения в кратчайшие сроки. «Социолог Владимир Попов, ссылаясь на известных западных исследователей М. Фламма и В. Кауфманна, пишет, что мобильность стала уже общепризнанной современной идеологией, побуждающей индивида расширять свои мобильностные способности и адаптироваться к пространственным изменениям жизни и условий труда в ситуации постоянной делокализации рабочих мест, частой смены коллег, друзей, партнеров и т.п.»⁵. При этом главным фактором является не скорость перемещения, а короткие расстояния. Альтернативой существующим проблемам транспортной системы и в связи с возросшими требованиями к устойчивости среды (включая меры по минимизации ее загрязнения и потреблению энергии) является уменьшение расстояния, которое людям необходимо преодолевать. Таким образом, хорошая доступность понимается как близкое предоставление необходимых объектов в пространстве и времени, дополненное наличием высококачественных транспортных связей (прямые, пешеходные и велосипедные маршруты, а также привлекательные маршруты движения общественного транспорта). Хорошая доступность является характеристикой высокой мобильности человека.

Современные нормативные документы не дают расширенного понятия мобильности и доступности, а лишь регламентируют транспорт и улично-дорожную сеть с точки зрения времени, потраченного на дорогу, а также пропускной способности сети улиц. Безусловно, это является необходимым, но далеко недостаточным, для обеспечения мобильности населения и доступности объектов, социальных благ и др. в планировочной структуре современного города.

Место работы горожанина должно иметь быструю транспортную доступность, что способствует решению проблемы занятости населения и как следствие устойчивому экономическому развитию. Экономическая доступность заключается в нужном количестве рабочих мест, в широком выборе мест приложения труда и в их локализации, возможности развивать собственный малый и средний бизнес. Отдельного исследования заслуживает понятие мобильности информационной в системе городских коммуникаций и ее влияния на те же параметры занятости.

Социальную доступность нормативные документы регламентируют как наличие общественных центров: общегородского, планировочных районов, зон отдыха и т.д. Общие описания социальной доступности укладываются в два пункта. Закон Российской Федерации о самоуправле-

⁵ Крайняя Н.П. Пространственная мобильность и городская морфология // Academia. 2012. № 2. С. 98.

нии предполагает активное участие граждан в формировании своей жилой среды через участие в общественных слушаниях по принятию проектных решений и контроль их выполнения, соблюдения бюджета строительных, реконструктивных и других работ. Однако общественные действия носят большей частью стихийный характер в случае острых территориальных конфликтов, например, протесты против использования дворовых детских и спортивных площадок в качестве автомобильных парковок и др.

Проблема территориальной, экономической доступности социальной инфраструктуры (медицинских учреждений, детских садов, школ) стоит как никогда остро. Такими проблемными в Красноярске являются жилые районы «Покровский», «Северный», «Взлетка». Так, в микрорайонах «Покровский» и «Северный» строительство детских образовательных учреждений отстает вследствие недостаточности финансирования, в районе «Взлетка» нарушен принцип единства и иерархии системы культурно-бытового обслуживания — вследствие «квартального» мышления детские сады и школы вообще не были запроектированы, земельные участки для них не были отведены. Социальная доступность во всем — один из основных показателей качества и продолжительности жизни. Безусловно, нельзя забывать о доступности самого жилья, оно должно быть доступно жителям, обладающим любым экономическим доходом, или должны создаваться необходимые условия для его приобретения.

Транспортная и социальная экономическая доступность и мобильность горожан тесно взаимосвязаны, и эта взаимосвязь — один из аспектов устойчивого развития градосистем в целом.

Анализ норм градостроительного проектирования позволяет сделать вывод о том, что современные стратегии устойчивого и биосферосовместимого развития городов должны привести к пересмотру принципов построения регламентной базы градостроительства. В практику должны быть введены нормы, задающие параметры качества жизни в городах, обязательном соблюдении уникальных свойств природного комплекса каждого из городов, но иметь при этом определенную гибкость в методике достижения указанных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП-2.07.01-89*. Планировка и застройка городских и сельских поселений [Текст] / Госкомархитектуры. — 2011.
2. Бондаренко, И.А. Древнерусское градостроительство: традиции и идеалы [Текст] / И.А. Бондаренко. — М. : Едиториал УРСС, 2002. — 108 с.
3. СанПиН 2.1.2.1002-00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.
4. Fedchenko, I.G. Humanistic idea of a micro-district in the XX century [Текст] / I.G. Fedchenko // Journal of Siberian Federal University. Humanities & social sciences. — 2012. — N 5. — P. 698–707.

*СЛАКОВ Петр Федорович, асп.
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

Получено после доработки 25.02.13

Slakov Petr Fedorovich, post-graduate student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

TO THE QUESTION OF THE CITIES ECOLOGY-ORIENTED RECONSTRUCTION. STANDARDS AND REALITY

Requirements to the «quality of life» in the cities formed to the end of XX — beginning of XXI centuries are considered in the issue. The Standards of Civil Construction 2.07.01-89 «Planning of the cities and rural settlements», the sanitary norms and rules 2.1.2.1002-00 «Sanitary and epidemiological requirements for residential buildings and premises» and the Ecological doctrine of the Russian Federation, are analyzed from the point of same conceptions of the cities ecology-oriented reconstruction.

Key words: standards and rules, regulations, the cities ecology-oriented reconstruction.

REFERENCES

1. CN&R-2.07.01-89*. Planning of the cities and rural settlements [Text]. — 2011.
 2. Bondarenko, I.A. Ancient-Russian urban design and planning: traditions and ideals [Text] / I.A. Bondarenko. — M. : Editorial URSS, 2002. — 108 p.
 3. SanPiN 2.1.2.1002-00. Sanitary-epidemological requirements for residential buildings and premises.
 4. Fedchenko, I.G. Humanistic Idea of a micro-district in the XX century [Text] / I.G. Fedchenko //Journal of Siberian Federal University. Humanities & social sciences. — 2012. — N 5. — P. 698-707.
-

УДК 711.4–112(571.1)

М.И. АКИМОВА

ТИПЫ ПЛОЩАДЕЙ ГОРОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

На основе анализа архитектурно-планировочных систем городов Западной Сибири выявлены критерии дифференциации их площадей.

Ключевые слова: главная площадь города, типы площадей, критерии дифференциации.

В процессе развития сибирских городов существенно видоизменяются и значительно дифференцируются их городские площади, с течением времени также меняются и приемы их объемно-пространственного решения. Характерным признаком города является наличие общественного центра, средоточия всей его деловой и культурной жизни, его композиционного ядра. В непрерывной смене общественно-исторических формаций меняется и характер общественного центра с главной площадью города. В первый период (XVI–XVII вв.) основания и развития сибирских городов общественная жизнь развивалась вокруг его укрепленного центра — крепости (Тюмень, Тобольск, Томск). Преобладала функция военной защиты населения от набегов врагов. Торговая площадь, возникшая в XVII в., носит функцию второго порядка и размещается за крепостными стенами (Тюмень, Тобольск, Томск). С развитием торговли и ремесел все большую роль начинает играть торговый центр города с торговой площадью.

Анализ эволюции городов Западной Сибири (на примере Тюмени, Тобольска, Томска, Омска, Барнаула, Змеиногорска, Колывани) позволяет дифференцировать площади по следующим признакам (см. рисунок):

1. По функциональному критерию:

— площадь на территории крепости XVI–XVII вв. (Тюмень, Тобольск, Томск и др.);

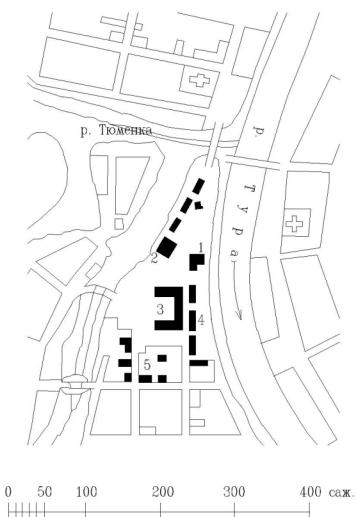
— торговая, базарная площадь, появление которой вызвано интенсивным развитием торговли. Эти площади возникают практически во всех городах, начиная с центральных рыночных площадей, окруженных рыночными рядами, и кончая обширными дровяными и сennыми площадями. Торговые, или базарные площади, как правило, размещались рядом с рекой или на пересечении главных сухопутных трактов, проходивших через поселение;

— соборная, церковная площади и площади при монастырях существовали со времени основания городов Западной Сибири и строительства на их территории церквей. Площадь перед зданием собора использовалась для религиозных процессий;

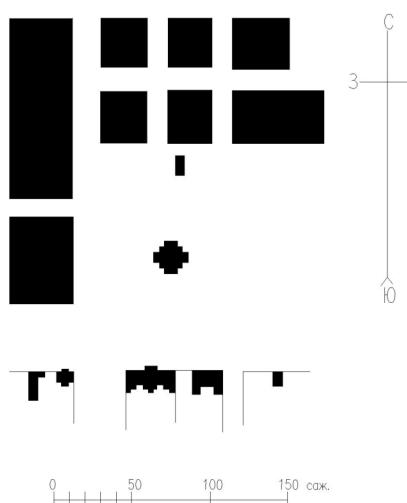
— общественные площади (конец XIX — начало XX в.) предназначены для приема демонстраций и парадов, для устройства широких собраний, митингов, карнавалов;

— театральная площадь и площадь-плац для военных парадов (Омск). Данные типы площадей появляются в России в период классицизма;

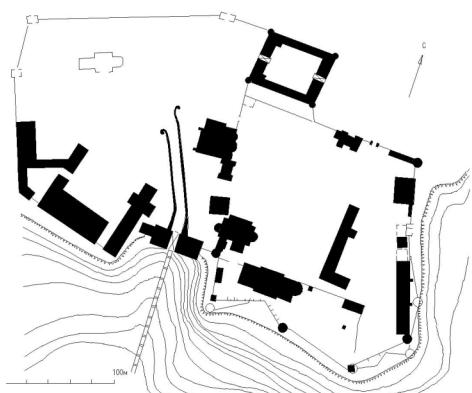
Гостино-дворская площадь в Тюмени



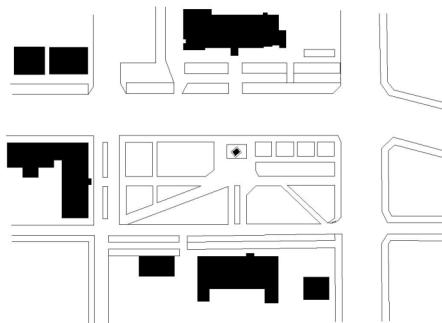
Соборная площадь в Томске



Главная площадь в Тобольске



Демидовская площадь в Барнауле



Главные площади городов Западной Сибири

— вокзальные площади всех типов (железнодорожный, речной, аэровокзал, объединенный вокзал для нескольких видов транспорта) появились с развитием транспортного сообщения между городами (XIX–XX вв.);

— предзаводская площадь (Барнаул) (XVIII в.);

— транспортные площади — предместные площади в крупных городах и площади у пересечений магистральных улиц. Архитектурный образ этих площадей определяется решением транспортной задачи. Преобладающее назначение таких площадей — распределение транспортных потоков в пунктах пересечения важнейших транспортных магистралей города по направлениям (XX в.);

— кроме этих площадей, ведущая функция которых вполне отчетливо выражена, существуют еще площади-скверы в жилых районах города, а также площади перед музеями, библиотеками и другими зданиями, требующими вокруг себя архитектурно организованных пространств [1]. Функции этих площадей разнородны, а в архитектуре города им принадлежит второстепенная роль.

В процессе развития городов помимо основного центра с главной площадью возникала необходимость создания на окраинных территориях своих второстепенных центров с соответствующими площадями.

В зависимости от функционирования того или иного исторического города приоритет главных площадей был различен. Например, в городах торгового назначения главной была торговая площадь (Томск, Змеиногорск, Колывань и др.), в городах, возникших на основе завода, — главная предзаводская площадь (Барнаул).

В исторической структуре городов выделяется пространство площадей, которые носили различный функциональный характер на всех этапах развития. Площади были как монофункциональны, так и полифункциональны. На территории крепости сибирского города была площадь, которая представляла собой небольшое пространство, окруженное немногочисленными жилыми домами и административными зданиями, являясь местом общения людей. При увеличении территории площадь предназначается для различных функций. Так, соборные площади, как правило, выполняли несколько функций: торговую, административную, духовную, в чем проявлялась их полифункциональность. В XVII в. с образованием слобод вокруг крепости образуются площади на территории слобод и на территории монастырей — площади различного функционального назначения. Эти площади по иерархии площадей носили второстепенное значение, главенствующую роль же занимала площадь на территории крепости.

В больших городах Западной Сибири были площади, связанные с административными, общественными, религиозными функциями. Таких площадей могло возникать несколько, так, например, в подгорной части Тобольска было несколько церковных площадей, образовавшихся в связи с созданием храмов и носивших название, одноименное с церквями. Тобольск является примером города с двумя ярко выраженными центрами и соответственно с двумя главными площадями: площадь Верхнего города — площадь на территории кремля и площадь Нижнего города — Базарная площадь. Главная площадь Тобольска на территории кремля объединяла в себе общественную, сакральную, административную и торговую функции и была полифункциональной. В Барнауле Демидовская площадь выполняла роль общественного центра, являлась главенствующей. Помимо этой площади в Барнауле также существовали Соборная площадь, выполнявшая сакральные функции, Базарная площадь, где преобладали торговые функции и др.

В малых городах Западной Сибири главная площадь, как правило, была полифункциональной и сосредоточивала в себе общественные, административные, сакральные и торговые функции.

2. По пространственно-планировочному критерию площади подразделяются на *замкнутые* (Монастырская и Центральная площади в Тюмени, Красная площадь в Тобольске и др.), *полузамкнутые* (Главная (Историческая) площадь Тюмени; площадь Ленина в Томске замкнута с трех сторон застройкой, а в сторону реки ее пространство открыто, Демидовская площадь в Барнауле замкнута с трех сторон зданиями) и *открытые* (Базарная площадь в Тобольске).

Анализ планировки и застройки площадей исследуемых городов позволяет констатировать, что Красная площадь в Тобольске замкнута со всех сторон застройкой (зданием Гостиного двора, Софийско-Успенского собора, Колокольни, Покровского собора, Музея (Архиерейский дом), Духовной семинарии (Консистория), Тюремного замка и др.), кремлевскими стенами и рельефом.

Главная Базарная площадь Нижнего города в Тобольске расположена у реки Иртыш и до сих пор не имеет четких границ, ей присущ открытый характер.

В разные исторические периоды менялся и характер объемно-пространственного построения сложившихся городских площадей. На начальном этапе развития XVI–XVII вв. сибирских городов-крепостей застройка, как правило, размещалась по периметру крепости, образовывая в центре пространство — первую городскую площадь. Эти площади носили замкнутый характер (Тюмень, Тобольск, Томск, Чаусский острог, Змеиногорская крепость и др.). В процессе развития планировочной структуры городов и осуществления застройки площади также меняли свой характер. Так, Историческая площадь Тюмени, расположенная на мысу и изначально имевшая полузамкнутый характер, при осуществлении застройки со стороны реки получает иной характер — замкнутый. Гостиная площадь в Томске первоначально носила замкнутый характер, впоследствии при сносе деревянных лавок пространство со стороны реки Томи открывается и площадь становится полузамкнутой.

Монастырская площадь в Тюмени, сформированная тремя церквями (Преображенский (Троицкий) собор, церковь Зосимы и Савватия (церковь Сорока мучеников), Петропавловская церковь), настоятельным корпусом и оградой, относится к типу замкнутых площадей.

Демидовская площадь в Барнауле была замкнута с трех сторон зданиями Госпиталя, Инвалидного дома с заводской (Дмитриевской) церковью, Горного училища, со стороны заводского пруда застройка отсутствовала, но площадь замыкалась чугунной оградой, следовательно, относилась к типу замкнутых площадей. В результате утраты ограды площадь стала носить полузамкнутый характер.

Главной исторической площадью малого исследуемого города Змеиногорска является Торговая площадь, в XIX в. приобретшая замкнутый характер. Замкнутость площади обусловлена периметральной застройкой в основном каменных купеческих особняков и торговых лавок (бергамот — контора Змеиногорского рудника, Дом горных офицеров, музей горного дела, лавки и жилые дома купцов Митиных, Макаровых, Куликовых и др.).

Центром города с момента переноса Колывани на новое место являлась Соборная или Базарная площадь. Пространство площади было строго ограничено улицами и со второй половины XIX в. замкнуто по всему периметру застройкой (домами наиболее богатых людей в городе — купцов Орлова, Пастухова, Кроткова, Кривцова, Жернакова, Култашева, городской думой, управой и др.).

3. По планировочно-геометрическому очертанию площади могут быть *регулярные* (Центральная площадь в Тюмени в плане представляет собой прямоугольник, Демидовская площадь в Барнауле, прямоугольная в плане, почти квадрат, форма плана площади Ленина в Томске близка к квадрату, Торговая площадь в Змеиногорске в плане представляет собой прямоугольник, Соборная площадь в Колывани) и *нерегулярные* (Главная (историческая) площадь Тюмени в плане представляет собой многоугольник, план Монастырской площади в Тюмени имеет форму неправильного многоугольника, Красная площадь в Тобольске многоугольной формы).

В градостроительной практике России первой половины XIX в. применялись образцовые проекты планировок городских кварталов и площадей. Эти проекты были созданы архитектором Гесте в 1811 г. и собраны в виде альбома под общим названием «Разделение городских кварталов на обывательские места». Альбом включает проекты кварталов и площадей, различных по форме и размерам, которые использовались как для застройки центра города, так и для второстепенных улиц и его окраин [2].

Анализируя эволюцию главных площадей исследуемых городов, отмечаем, что главная площадь в Тюмени, образованная на территории крепости в конце XVI в., расположенной на клиновидном мысу, в плане представляла собой многоугольник. В конце XVII — начале XVIII в. центр пространственно выходит за пределы крепости, происходит перетекание площади на территории крепости в торговую площадь у ее стен. Площадь увеличивается в размерах, но по очертанию плана продолжает являть собой многоугольник.

Даже в период всеобщего урегулирования планов городов главная площадь на стрелке Тюменского мыса по плану 1775 г. не урегулировалась.

В процессе роста и развития Тюмени происходит линейное развитие центра и постепенное смещение его от крепости к Ярмарочной площади, образованной в XIX в., которая, в свою очередь, в середине XX в. превращается в главную административную площадь города. Эта площадь с момента образования была регулярной формы, представляя в плане правильный четырехугольник, со временем и в процессе застройки менялись лишь ее габариты, регулярность же сохранялась.

В XVIII в. образуется и формируется вторая значимая площадь Тюмени — на территории Троицкого монастыря, представляющая собой в плане неправильный многоугольник.

В другом исследуемом городе Тобольске с момента возникновения в конце XVI в. историческим центром города является кремль с образованной на его территории главной площадью, которая в настоящее время носит название Красная площадь. Эта площадь на протяжении всех периодов развития города имеет нерегулярный характер и представляет собой в плане многоугольник. Изменения площади в процессе эволюции происходили лишь по ее габаритам и формирующей ее застройке.

Первая городская площадь Томска так же, как и в Тюмени, была расположена в крепости, образованной в начале XVII в., но в отличие от крепостной площади в Тюмени, площадь на территории Томской крепости с самого начала приобрела геометрически правильные очертания, имела трапециевидное очертание. В связи с ростом торговой функции и утратой крепостью фортификационной функции, центр из крепости перемещается на Базарную площадь, образованную в XVIII в. под Воскресенской горой, в устье реки Ушайки, на правом берегу. Для этой площади была характерна вытянутая форма плана, близкая к прямоугольнику. В конце XVIII — начале XIX в. в период всеобщего урегулирования планировок городов главная площадь приобретает форму квадрата. Анализ позволяет заключить, что на протяжении всех периодов развития главная площадь Томска носила регулярный характер.

В отличие от предыдущих городов, Барнаул изначально возникает как регулярное горнозаводское поселение в первой половине XVIII в., площади его носили регулярный характер. Изначально центром притяжения горожан служила Предзаводская площадь, а в первой половине XIX в. эта функция переходит на Демидовскую площадь. Демидовская площадь носит строго регулярный характер, она прямоугольная в плане, почти квадрат.

Площадь на территории первой Омской крепости, основанной в 1716 г., представляла собой неправильный пятиугольник, в конце XVIII в. при переносе крепости на новое место — площадь в плане представляла собой прямоугольник.

В Новониколаевске площади изначально характеризовались прямоугольной формой плана.

В малых исследуемых городах площади не претерпевали коренных изменений. В Колывани первая площадь была образована на территории Чаусского острога, образованного в начале XVIII в. Острог характеризовался правильной четырехугольной формой плана, площадь повторяла его конфигурацию. После переноса на новое место в первой половине XIX в. город изначально стал формироваться по регулярному плану, главная Соборная (Базарная) площадь всегда была прямоугольной формы, менялся лишь характер ее застройки, но регулярность сохранялась.

Исторический центр другого малого исследуемого города Змеиногорска также сформирован вокруг четырехугольной регулярной в плане площади.

4. По архитектурно-пространственной композиции площади классифицируют на *глубинные* (Центральная площадь в Тюмени, Демидовская площадь в Барнауле, относительно Богоявленского собора площадь Ленина в Томске) и *широктные* (относительно здания Оперного театра площадь Ленина в Новосибирске).

В процессе эволюции и развития главных площадей исследуемых городов с осуществлением их застройки менялся характер их композиции, так как доминирующие здания площади перестраивались, появлялись новые, а какие-то исчезали совсем.

Как правило, церкви, являясь в большинстве случаев до начала ХХ в. доминирующими сооружениями на площадях в силу своей высотности, отвечали требованиям глубинности. При расположении площади перед зданием с фасадом горизонтальных пропорций обычно ширина площади была больше ее глубины, что позволяет относить ее к широтному типу композиции.

Анализ исторического центра Тобольска с главной площадью, расположенной на территории кремля, позволяет заключить, что центром этого выдающегося исторического архитектурного ансамбля является Софийский собор и колокольня, придающие композиции площади глубину.

Выводы. Таким образом, на основе анализа архитектурно-планировочных систем городов Западной Сибири была выявлена дифференциация их площадей по следующим критериям: 1) функциональному (соборные, торговые, предзаводские, общественные, театральные и др.); 2) пространственно-планировочному (замкнутые, полузамкнутые, открытые, с перетекающим пространством); 3) планировочно-геометрическому очертанию (квадратные, прямоугольные и др.); 4) архитектурно-пространственной композиции (глубинные, широтные); в результате чего составлены системные таблицы исследуемых площадей в городах Тюмени, Тобольске, Томске, Омске и др., что позволило в дальнейшем спрогнозировать их реконструкцию на перспективу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бунин, А.В. Архитектурная композиция городов [Текст] / А.В. Бунин, М.Г. Круглова. — М., 1940.
2. Чернозубова, Л.Е. Образцовые проекты планировки жилых кварталов и площадей начала XIX в. [Текст] / Л.Е. Чернозубова // АН. — М. : Гос. изд-во лит. по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. — № 15. — С. 188–192.

АКИМОВА Мария Игоревна, канд. искусствоведения, доц.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 08.02.13

Akimova Mariya Igorevna, candidate of art history, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

THE TYPES OF AREAS IN WESTERN SIBERIA CITIES

The criteria for the differentiation of areas in Western Siberia cities (Tyumen, Tobolsk, Tomsk, Omsk, Barnaul, Zmeinogorsk, Kolyvan) identified to based on the analysis of their architecture planning.

Key words: the main area of city, the types of areas, criteria of differentiation.

REFERENCES

1. Bunin, A.V. Architectural composition of cities [Text] / A.V. Bunin, M.G. Kruglova. — M., 1940.
 2. Chernozubova, L.E. Model projects planning of residential quarters and areas early 19th c. [Text] / L.E. Chernozubova // AN. — M. : State Publishing House of literature on construction, architecture and building materials, 1963. — N 15. — P. 188–192.
-

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 528.5

В.А. МАРКАРЯН

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОШИБОК СВЕТОДАЛЬНОМЕРА ДВСД-1200

Для наблюдений за деформациями уникальных сооружений, где выполнение геодезических наблюдений требует линейных измерений с ошибками порядка 0,2–0,5 мм, рекомендуется использовать высокоточный светодальномер ДВСД-1200.

Выполнен анализ источников ошибок нового макета прибора с целью их полного учета. Исследованы инструментальные ошибки и ошибки, обусловленные влиянием внешних факторов. Для расстояния, не превышающего 1 км, с учетом изменения метеопараметров получена формула поправок в измеряемое расстояние.

Ключевые слова: светодальномер, модуляция, домер, поправка, ошибка.

Для определения осадок и горизонтальных перемещений таких уникальных инженерных сооружений, как ускорители элементарных частиц, высокоточных направляющих путей, радиотелескопов, телебашен и т.д., эффективно применяются высокоточные светодальномеры, позволяющие выполнить линейные измерения с ошибками порядка 0,2–0,5 мм. К таким светодальномерам относятся Мекометры (Швейцария), Геоменсор CR-204 (Великобритания), СП05 (Россия), а также ДВСД-1200 (Республика Армения).

В проблемной лаборатории геодезических измерений Ереванского политехнического института, затем Ереванского государственного университета архитектуры и строительства (ЕГУАС) продолжаются начатые с конца прошлого столетия работы по усовершенствованию и модернизации высокоточного светодальномера ДВСД-1200.

В новой разработке высокоточного светодальномера ДВСД-1200 модернизированы узлы модулятора-демодулятора света, усилительно-индикаторного и отсчетного устройств домера фазового цикла (см. рисунок).

Измеряемое расстояние при данной частоте модуляции светодальномером вычисляется по формуле [1]:

$$S = N\lambda_m / 2 + \lambda_m / 4 + \delta - K, \quad (1)$$

где λ_m — длина волны, соответствующая f_m , вычисляемая по формуле $\lambda_m = C_0 / n_{rp} \cdot f_m$ (f_m — частота модуляции);

C_0 — скорость света в вакууме;

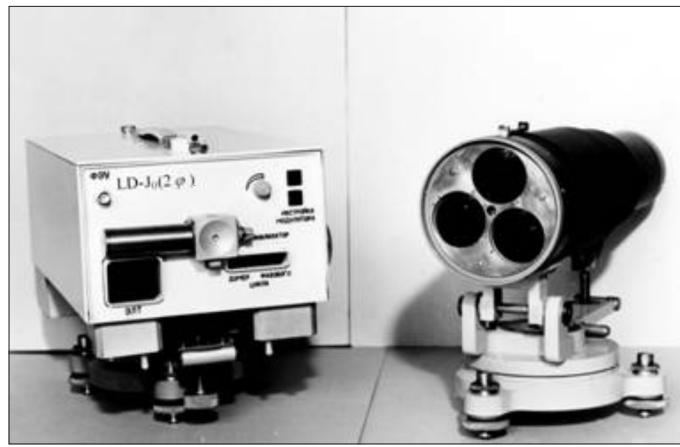
n_{rp} — групповой показатель преломления среды;

N — целое число модулированных полуволн, уложившихся в измеряемом расстоянии;

δ — домер фазового цикла (величина перемещения модулятора-демодулятора);

K — постоянная поправка.

© Маркарян В.А., 2013



Модернизированный светодальномер ДВСД-1200

Дифференцируя формулу (1) по переменным и переходя к средним квадратическим ошибкам, получим среднюю квадратическую ошибку результата измерений в виде

$$m_s^2 = S^2 \left[\left(\frac{m_c}{C_0} \right)^2 + \left(\frac{m_f}{f_m} \right)^2 + \left(\frac{m_n}{n_{rp}} \right)^2 \right] + \left(\frac{C_0}{4\pi n_{rp} f_m} \right)^2 m_\delta^2 + m_k^2. \quad (2)$$

Здесь m_c , m_f , m_n , m_δ , m_k — соответственно ошибки определения скорости света в вакууме, частоты модуляции, коэффициента преломления среды, домера фазового цикла и постоянной поправки прибора.

Из формулы (2) следует, что все ошибки можно разделить на две группы: инструментальные и ошибки, обусловленные влиянием внешних факторов.

К первым относятся ошибки самой аппаратуры. Ко вторым — ошибки определения показателя преломления среды прохождения света и в конечном итоге скорости света в вакууме.

Для представления средней квадратической ошибки измерения расстояния светодальномером в виде $m_s = a + bS$ вышеприведенные ошибки разделим на:

а) ошибки, не зависящие от длины измеряемой линии;

б) ошибки, зависящие от длины линии, причем с увеличением длины величины этих ошибок увеличиваются.

Первая группа включает ошибки определения постоянной поправки, вызванные невертикальностью осей вращения приемопередатчика и отражателя, центрирования светодальномера, определения домера фазового цикла, изменения постоянной поправки, вызванного температурным расширением основания приемопередатчика и отражателя. Ко второй группе можно отнести ошибки в стабильности частоты, определения метеопараметров (температуры, давления, влажности), показателя преломления воздуха и скорости света.

Так как измеренные расстояния всеми разработками ДВСД оцениваются ошибками, составляющими десятые доли миллиметра, то необходим тщательный анализ всех источников ошибок нового макета прибора с целью их полного и правильного учета. Рассмотрим первую группу ошибок.

Результаты лабораторных исследований и эталонирования макетов ДВСД-1200 на оптико-механическом компараторе Ереванского кольцево-

го ускорителя показали, что применяя цилиндрические уровни с ценой деления 20", ошибки измеренного расстояния при принудительном центрировании и невертикальности осей вращения приемопередатчика и отражателя составят около 20 мкм [2].

Основания приемопередатчика и отражателя изготовлены из дюралиюминия, коэффициент расширения которого составляет $22,6 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, поэтому при изменении температуры $\Delta t = \pm 25$ °C постоянная поправка может измениться в пределах

$$\Delta K_t = K \rho \Delta t, \quad (3)$$

где K — постоянная прибора. Приняв приближенное значение $K = 350$ мм, получим $\Delta K_t = 0,20$ мм, а ошибка определения этой поправки составит

$$m_{\Delta K_t} = \sqrt{m_K^2 \rho^2 \Delta t^2 + m_{\Delta t}^2 K^2 \rho^2 + m_\rho^2 \Delta t^2 K^2}. \quad (4)$$

При $m_\rho = 0$, $m_K = 0,15$, $m_{\Delta t} = 0,5$ °C, $\Delta t = \pm 25$ °C, $K = 350$ мм получим $m_{\Delta K_t} = 0,01$ мм. Таким образом, суммарное значение ошибок, не зависящих от длины измеряемого расстояния, без учета ошибки постоянной поправки и домера фазового цикла составит $m_s = 30$ мкм.

Рассмотрим вторую группу ошибок. Как известно, длину волны модулированного светового колебания можно определить по формуле

$$\lambda_m = C_0 / n_{\text{рп}} \cdot f_m. \quad (5)$$

Средняя квадратическая ошибка длины волны модуляции определяется дифференцированием формулы (5) и будет равна:

$$m_\lambda^2 = \left(\frac{1}{f_n} \right)^2 m_C^2 + \left(\frac{C_0}{f_n} \right)^2 m_n^2 + \left(\frac{C_0}{f_n^2} \right)^2 m_f^2. \quad (6)$$

Здесь m_C , m_n , m_f — соответственно ошибки определения C_0 , n и f .

Скорость света в вакууме в настоящее время определена со средней квадратической ошибкой $4 \cdot 10^{-9}$. Для высокоточных дальномеров типа ДВСД, требующих источник СВЧ-колебаний, в работе [3] обоснована относительная нестабильность частоты, не превышающая величины $(1-5) \times 10^{-7}$, поэтому для предварительных расчетов величину этой ошибки примем 5×10^{-7} .

Определение среднего показателя преломления среды требует знаний среднего значения температуры, давления и водяных паров. Рабочий показатель преломления при электрооптическом способе измерения расстояний принимает групповой показатель преломления для длины волны света, которая использована в качестве несущей, и для нормальных метеоусловий и содержания углекислого газа 0,03 %, можно использовать формулу Баррела и Сирса. Для вычисления же поправки за метеорологические условия, отличающиеся от нормальных, можно использовать формулу [3]:

$$(n - 1) = (n_{\text{рп}} - 1) \cdot 0,3594 \frac{P}{T} - 15,02 \cdot 10^{-6} \frac{e}{T}. \quad (7)$$

Как видно из формулы (7), от точности определения метеорологических элементов зависит средний показатель преломления.

Для лазера ЛГ-207, который используется в приборе, длина волны света $\lambda = 0,6328$ мкм, а индекс преломления света — $N10^7 = 3002$. С учё-

том этих данных, продифференцировав уравнение (7) по переменным T , P и e и заменив дифференциалы конечными приращениями, получены формулы поправок в измеряемое расстояние. Например, для горных районов, где возможны $0 \leq t \leq +25^{\circ}\text{C}$; $760 \text{ мм рт. ст.} \geq P \geq 650 \text{ мм рт. ст.}$; $0 \text{ мм рт. ст.} \leq e \leq 10 \text{ мм рт. ст.}$, и приняв $\Delta t = 0,5^{\circ}\text{C}$, $\Delta P = 0,5 \text{ мм рт. ст.}$ и $\Delta e = 1 \text{ мм рт. ст.}$, $\Delta\lambda = 0,0001 \text{ мкм}$, влияние $\Delta\lambda$, Δt , ΔP и Δe на измеряемое расстояние, не превышающее 1 км, для указанных интервалов изменения метеопараметров можно приближенно оценить следующим выражением:

$$\Delta S \approx (\mp 0,004\Delta\lambda \mp 0,52\Delta t \pm 0,20\Delta P \mp 0,053\Delta e) \cdot 10^{-6}. \quad (8)$$

Кроме того, подставляя величины ошибок в формулу (6), получим среднюю квадратическую ошибку длины волны модуляции $m_{\lambda} = 0,20 \text{ мкм}$.

По результатам расчетов ожидаемую среднюю квадратическую ошибку измерения расстояния модернизированного светодальномера ДВСД-1200 можно представить выражением

$$m_S^2 = (1 \cdot 10^{-6})^2 S^2 + m_{\delta}^2 + m_K^2, \quad (9)$$

где m_{δ} , m_K — соответственно ошибки измерения домера фазового цикла и постоянной поправки прибора [4].

Отметим, что для полной оценки величины средней квадратической ошибки измерения данным прибором необходимы исследования с целью получения ошибок измерения домера фазового цикла и постоянной поправки прибора, которые могут быть определены эталонированием светодальномера на оптико-механическом компараторе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильясов, В.В. Геодезические исследования СВЧ светодальномеров и разработка методики измерений [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ильясов Вячеслав Вениаминович. — М., 1980. — 24 с.
2. Айрапетян, Е.А. Разработка и исследование светодальномера «О» разряда для специальных геодезических работ [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Айрапетян Егисабет Акоповна. — Ереван, 2006. — 27 с.
3. Вайнберг, В.Я. Исследования макетов светодальномеров типа ДВСД-1200 с зеркальной коллимирующей системой [Текст] / В.Я. Вайнберг, Ф.В. Шаров // Геодезия и картография. — 1983. — № 4. — С. 17–20.
4. Гюнашян, К.С. Отражатель для светодальномера ДВСД-1200 [Текст] / К.С. Гюнашян, Е.А. Айрапетян, В.А. Маркарян // Известия Академии наук Армении. Серия техн. наук XLIV. — 1991. — № 4. — С. 193–200.

*МАРКАРЯН Венера Арцруновна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: venera-margaryan@rambler.ru
Ереванский государственный университет архитектуры и строительства, Республика Армения*

Получено после доработки 28.02.13

Markaryan Venera Artsrunovna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: venera-margaryan@rambler.ru, Yerevan State University of Architecture and Construction (YSUAC), Republic of Armenia

ANALYSIS OF POTENTIAL SOURCES OF ERRORS LIGHT RANGE FINDER ДВСД-1200

In order to observe deformations of such unique structures where the execution of geodetic observations require linear measurements of accuracy ranging from 0,2–0,5 mm is recommended to use a high-precision light range finder ДВСД-1200.

This article gives an analysis of errors sources of the new design of the above device, in order to consider all possible errors.

Instrumental errors and errors caused by external factors have been studied. Within 1 km distance, taking into account weather parameters a formula for correction in the measuring distance has been obtained.

Key words: light range finder, modulation, remainder, correction, error.

REFERENCES

1. Ilyasov, V.V. Geodetic research and development measurement methods of SHF light range finder [Text] : author's abstract of dis. ... cand. of tech. sciences / Ilyasov Vyacheslav. — M., 1980. — 24 p.
 2. Hayrapetyan, E.A. Development and research of a light range finder «0» class for the special geodetic work [Text] : author's abstract of dis. ... cand. of tech. sciences / Hayrapetyan Egisapet. — Yerevan, 2006. — 27 p.
 3. Weinberg, V.Ya. Researche of light range finder models such as ДВСД-1200 with mirror collimating system [Text] / V.Ya. Weinberg, F.V. Sharov // Geodesy and cartography. — 1983. — N 4. — P. 17–20.
 4. Gyunashyan, K.S. Reflector for ДВСД-1200 light range finder [Text] / K.S. Gyunashyan, E.A. Hayrapetyan, V.A. Markaryan // Proceedings of the Armenian Academy of Sciences, Series of engineering science XLIV. — 1991. — N 4. — P. 193–200.
-

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

ЕНДЖИЕВСКИЙ ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ

Член-корреспондент РААСН, академик МАН ВШ, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, почетный строитель РФ, доктор технических наук, профессор.

Вся трудовая деятельность Л.В. Енджеевского неразрывно связана со становлением и развитием Красноярского политехнического института (КПИ), выделившегося из него в 1982 г. инженерно-строительного института (ИСИ) и далее ИСИ Сибирского федерального университета (СФУ).

По окончании в 1961 г. с отличием КПИ работал в том же институте ассистентом, затем доцентом и старшим научным сотрудником кафедры «Строительная механика», деканом строительного факультета, а с 1984 по 2010 г. был заведующим кафедрой «Строительные конструкции», с 2010 г. по настоящее время — профессор кафедры «Строительные конструкции и управляемые системы».

Л.В. Енджеевский — один из инициаторов широкого внедрения вопросов синтеза, регулирования и оптимизации в учебные курсы строительной механики и строительных конструкций. В ИСИ СФУ под его руководством сформировалось научное направление «Разработка комбинированных пространственных конструкций с учетом региональных условий Сибири и управляемых конструкций как разновидности интеллектуальных систем».

ИСИ стал одним из ведущих центров России в области комбинированных пространственных конструкций, составленных из стержней, пластины и оболочек. Сформулированы принципы и методы создания блочных конструкций — конструкций нового поколения, созданы программные комплексы, позволяющие выполнять статические и динамические расчеты. Разработаны для широкого диапазона перекрываемых пролетов принципиально новые решения пространственных конструкций для покрытий зданий, большинство из них успешно прошли проверку на натурных объектах по параметрам технологичности и надежности и др.

Результаты исследований нашли отражение в более 160 публикациях, в том числе в трудах международных симпозиумов и конференций, 18 монографиях и учебных пособиях, 20 изобретениях и патентах. Под руководством Л.В. Енджеевского выполнены и успешно защищены 14 кандидатских и две докторские диссертации. Он возглавляет специализированный совет по защите докторских и кандидатских диссертаций при



СФУ, входит в состав диссертационных советов при НГАСУ (Сибстрин) (г. Новосибирск) и ТГАСУ (г. Томск), является соавтором изданного с грифом Минвуза СССР учебного пособия «Избранные задачи по строительной механике и теории упругости», а также вышедших с грифами Минобразования России учебника «Металлические конструкции» и учебного пособия «Каркасы зданий из легких металлических конструкций и их элементы», отмеченного дипломом РААСН.

Особо значимой стала организационная и творческая деятельность Л.В. Енджиевского в период формирования Сибирского федерального университета. Он активно поддержал инновационную стратегию развития СФУ, возглавив региональный проект «Разработка и реализация инновационных образовательных программ подготовки кадрового обеспечения инвестиционно-строительного комплекса Сибирского региона».

Л.В. Енджиевский проводит большую научно-общественную работу в качестве члена координационного совета по строительству при зам. губернатора Красноярского края.

За успехи в области образования и научно-исследовательской деятельности он награждался почетными грамотами, знаками Минвуза РСФСР и государственного комитета СССР по народному образованию, отраслевыми наградами, медалями.

Вместе с коллегами, учениками редакция журнала поздравляет юбиляра и желает ему здоровья, благополучия и новых успехов в его многогранной деятельности.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:

- *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подпись автора или руководителя представляющей статью организации. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

- рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);
- экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;
- разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Суг размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

- индекс УДК;
- инициалы, фамилии авторов;
- название статьи;
- аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);
- ключевые слова;
- текст статьи;
- библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);
- сведения об авторах: *фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания* (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и *английском языках*;
- почтовые адреса, телефоны и *e-mail* авторов;
- *название статьи на английском языке*;
- *аннотацию на английском языке*;
- *ключевые слова на английском языке*;
- *библиографический список на английском языке*.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. *Русские и греческие буквы* и индексы, а также *цифры*, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются *прямым шрифтом*. *Латинские буквы* набирать *курсивом*. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *п*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2013 г. — из расчета 750 р. за 1 журнальную страницу.

Индекс 70377

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(SI).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1-е полугодие 2013 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 1800 р.

Цена отдельного номера — 300 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ISSN 0536—1052. Известия вузов. Строительство. 2013. № 4 (652). 1–122

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 4 (652) 2013

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*

Технический редактор *Г.П. Рыжкова*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*